ELEMENTI DI MACCHINE MARINE
E SERVIZI AUSILIARI DI BORDO

§ 1 - Grandezze e sistemi termodinamici

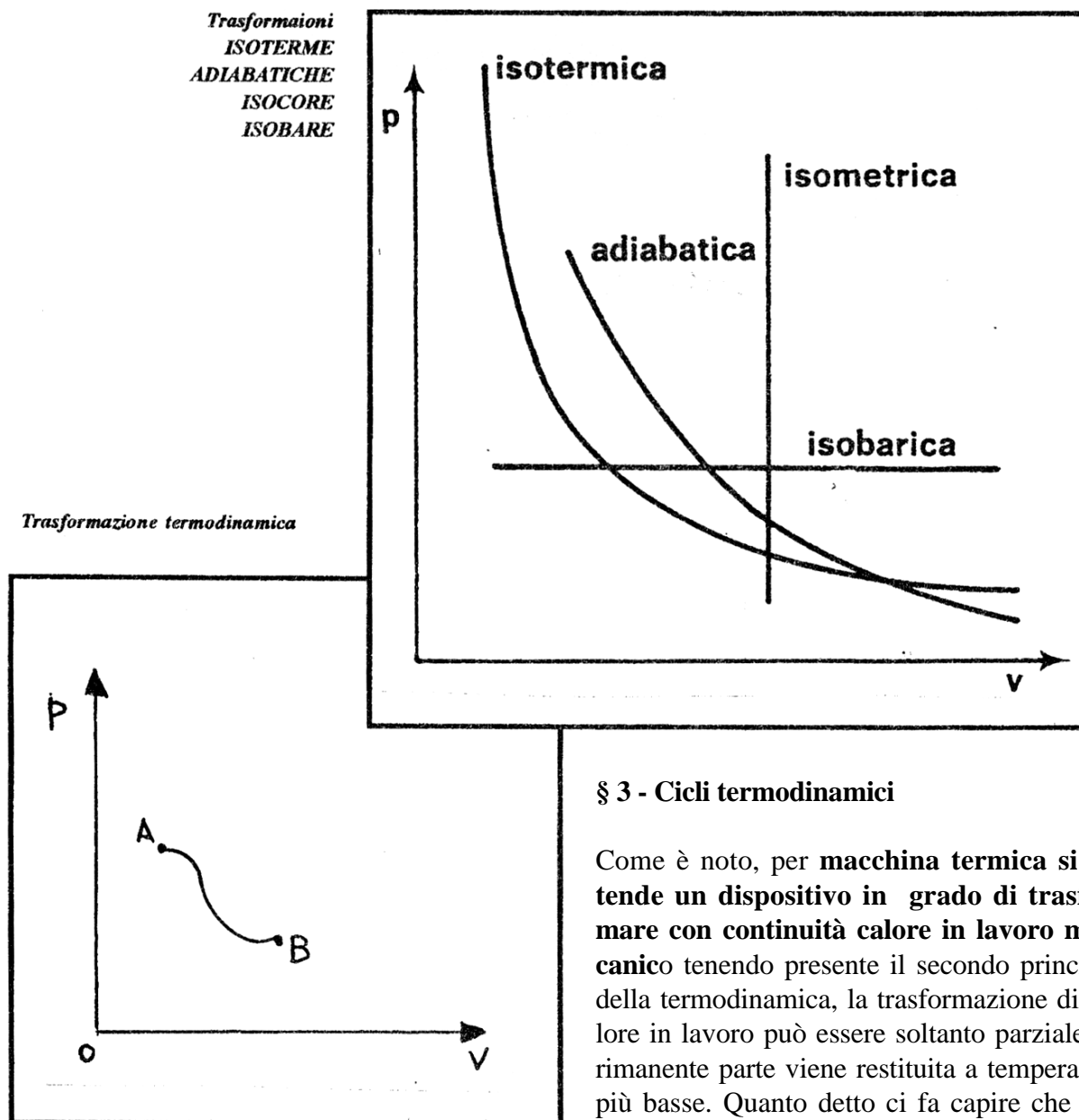
Lo studio dei sistemi termodinamici ha alla base la definizione e l'impiego di talune **variabili termodinamiche** che considerano le cose da un punto di vista macroscopico, senza cioè entrare nell'interna costituzione del corpo o dei corpi, dei quali interessa studiare il comportamento.
Tale corpo, o gruppo di corpi, su cui si fissa l'attenzione, costituisce il sistema termodinamico di cui si desidera seguire le vicende (trasformazioni termodinamiche), tutto ciò che è esterno e con cui il nostro sistema interagisce costituisce il "mezzo"o l'ambiente in cui il sistema termodinamico è immerso. L'adozione dal punto di macroscopico comporta due vantaggi, e precisamente consente di diminuire il numero delle grandezze con le quali si studia il sistema; consente di studiare certe proprietà generali dei sistemi termodinamici, senza entrare nell'intima struttura atomico-molecolare della materia.
Le variabili termodinamiche vengono generalmente classificate come variabili "estensive" e variabili "intensive". Le prime sono quelle in cui il valore è proporzionale alla massa del sistema. Esempio: volume, energia interna; le seconde non dipendono dalla massa del sistema; esempio: pressione, temperatura.
I sistemi termodinamici possono essere chiusi o aperti; nel primo caso le uniche interazioni con il mezzo sono scambi di energia, mentre nel secondo caso ci sono scambi di materia (pompe, turbine).
Esistono grandezze termodinamiche che sono funzioni di stato ovvero, dipendono solo dallo stato attuale in cui si trova il sistema e non dalla sua storia.
Ne consegue che se un sistema parte da uno stato e subisce una trasformazione fino ad arrivare ad uno stato finale, la variazione subita da qualsiasi funzione di stato dipende solo dallo stato iniziale e da quello finale, ovvero dalla differenza dei valori assunti dalla grandezza nei due stati. E' chiaro che esistono altre grandezze che non godono di queste proprietà.
Da quanto detto è evidente che, ogni volta che qualcuna di tali grandezze subisce una variazione il sistema subisce una trasformazione termodinamica; qualora invece nessuna delle funzioni di stato modifichi modifichi il suo valore, il sistema si trova in uno stato di equilibrio termodinamico.
Gli equilibri che il sistema può eseguire sono diversa natura termico, chimico, meccanico. Solo quando tutti e tre gli equilibri sussistono contemporaneamente, il sistema si dice in equilibrio termodinamico. Per definire lo stato di un sistema non è necessario specificare il valore di tutte le grandezze che lo governano. Questo, perchè tutte le grandezze non sono fra loro indipendenti, ma legate da certe relazioni che prendono il nome di equazioni di stato.
In generale, i fluidi termodinamici sono descritti da tre sole variabili **p=pressione, v=volume** e **T=temperatura**, è infatti nota la equazione di stato per i gas perfetti **pv = RT**, dove **R = costante.**

§ 2 - Principi di termodinamica

Il primo principio della termodinamica asserisce che l'energia può essere trasferita da una forma ad un'altra ma che non può essere nè creata, nè distrutta. Tale principio in termini analitici è espresso dalla relazione Δ **U = Q - L.**
Significa che la **variazione di U (energia interna cioè posseduta dal sistema atomici ecc.) è pari alla differenza fra la quantità di calore e lavoro scambiate con l'esterno.**
Il secondo principio della termodinamica (Enunciato di Carnot) **postula che è impossibile trasformare integralmente calore in lavoro.**
.

- Diagrammi termodinamici

Si è visto che lo stato dei fluidi viene completamente individuato assegnando due sole variabili di stato, pertanto è possibile rappresentare gli stati di un fluido, e quindi le sue trasformazioni, mediante un diagramma nel quale i valori delle variabili siano riportati sugli assi coordinati. In tale diagramma ogni stato di equilibrio è rappresentato da un punto mentre una linea rappresenta una trasformazione.

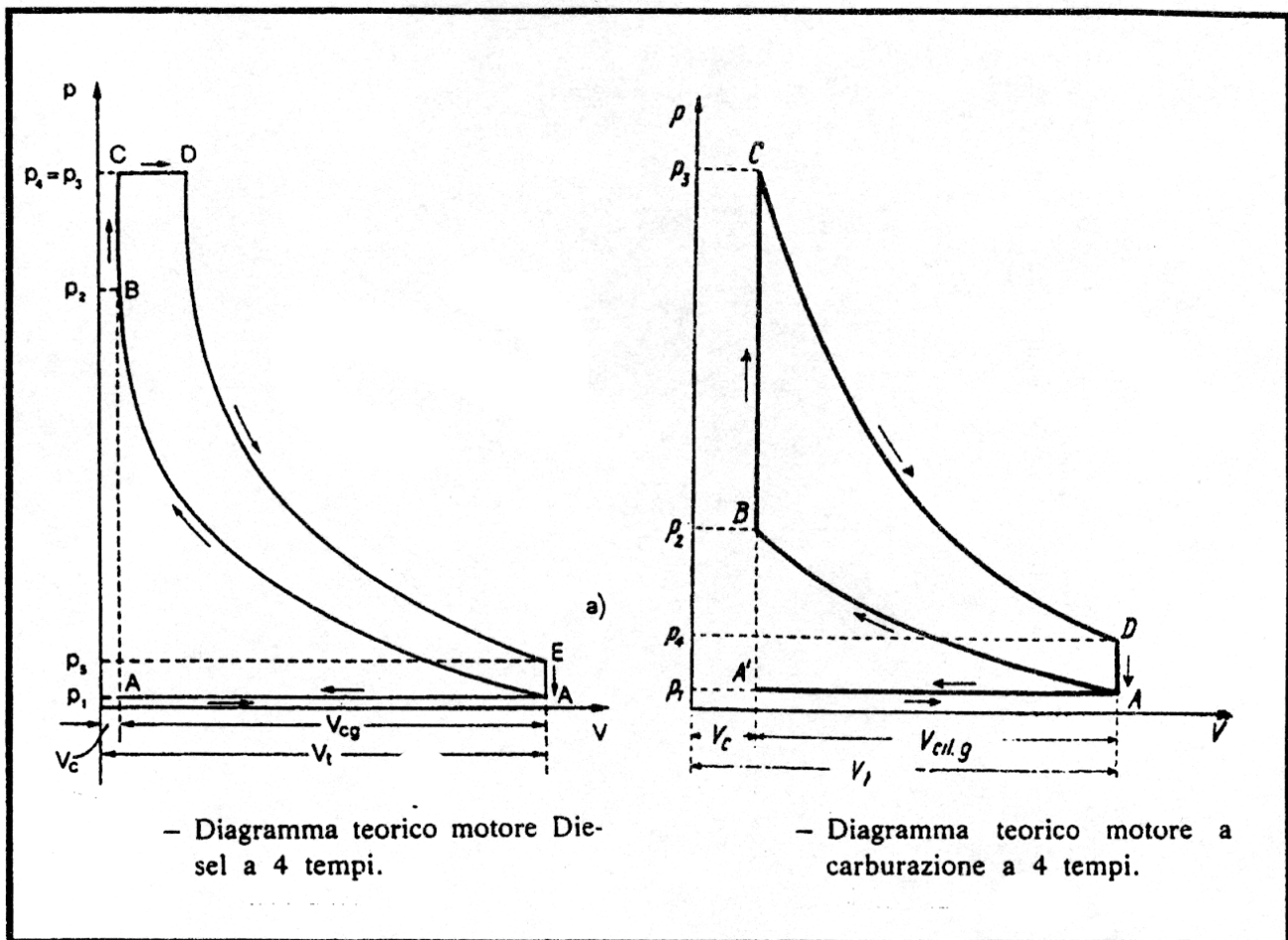
Questi diagrammi sono fondamentali perchè consentono di ricavare tutte le informazioni desiderate. Di solito, si traccia sul diagramma una serie di linee rappresentative, per ciascuno dei più importanti tipi di trasformazione.

§ 3 - Cicli termodinamici

Come è noto, per **macchina termica si intende un dispositivo in grado di trasformare con continuità calore in lavoro meccanic**o tenendo presente il secondo principio della termodinamica, la trasformazione di calore in lavoro può essere soltanto parziale; la rimanente parte viene restituita a temperature più basse. Quanto detto ci fa capire che una macchina termica per funzionare ha bisogno di una sorgente termica a **T1** da cui prende calore **Q1**, e da un serbatoio a **T2** al quale cede il calore **Q2** ovviamente, **T1>T2 e Q1>Q2.**

Nel caso dei M.C.I. non si ha una sorgente di calore a tempo fissata, bensì un combustibile che può essere fatto bruciare a temperature più o meno elevate.

Questo fatto ha portato a varie schematizzazioni della fase di cessione del calore in modo tale da poter individuare alcuni cicli che descrivessero con un certo grado di aderenza alla realtà l'evoluzione del fluido all'interno del cilindro motore. I due cicli base a cui viene ricondotto il funzionameto dei motori a scoppio, e rispettivamente Diesel, sono il ciclo **"Otto-Beau de Rochas" e il ciclo "Diesel"**. Questi cicli vengono realizzati nel piano p-v, cioè pressioni e volumi specifici. A scopo puramemte didattico, per i M.C.I. (in generale per tutte le macchine termiche), esistono diverse rappresentazioni del ciclo motore: **ciclo ideale, limite e indicato o reale**. Il primo è costruito su presupposti molto lontani dalla realtà, per cui riveste un'importanza del tutto didattica; esso si realizza pensando ad una macchina ideale in cui circola un fluido ideale.

– Diagramma teorico motore Diesel a 4 tempi.

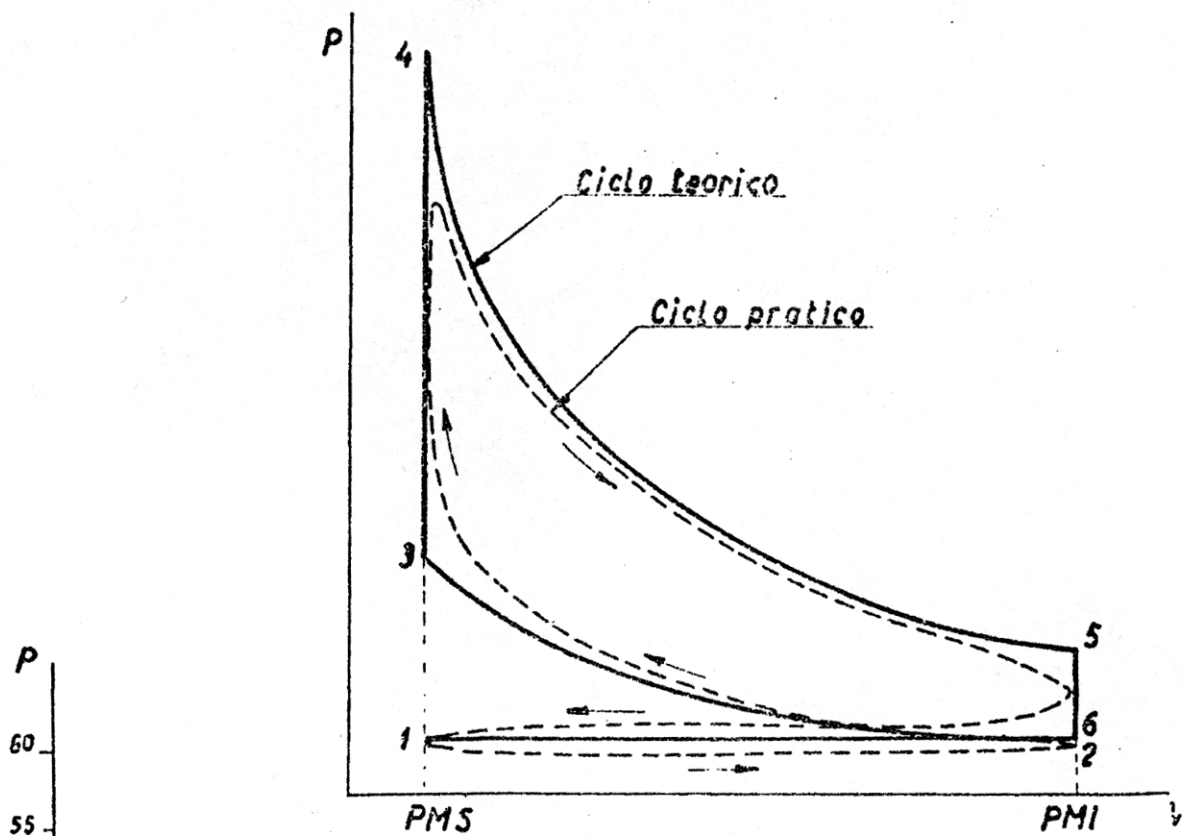
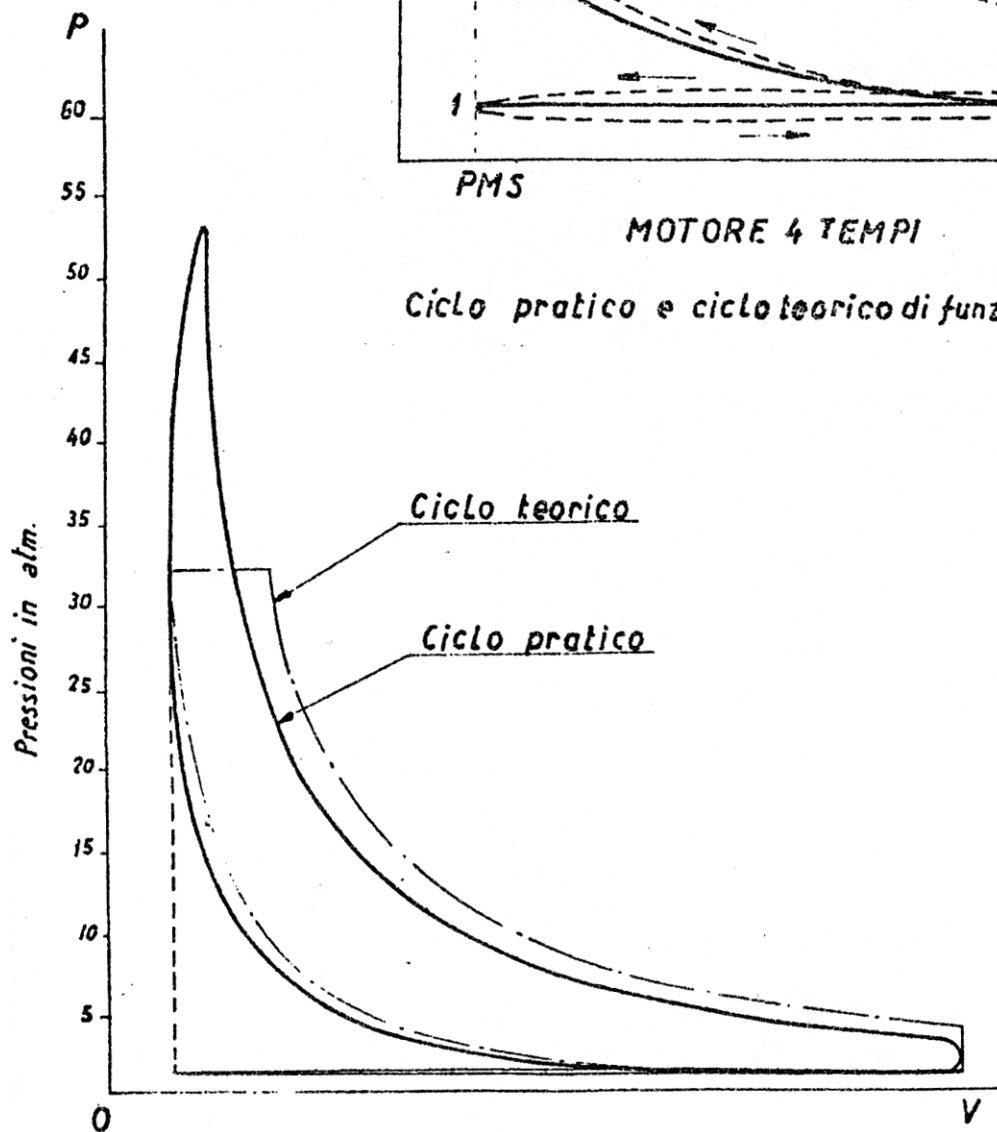
– Diagramma teorico motore a carburazione a 4 tempi.

Il secondo si avvicina molto di più a quello effettivamente descritto dal fluido operante, infatti tale ciclo presuppone un fluido reale in una macchina ideale. Infine il terzo è quello rilevabile effettivamente da un indicatore meccanico che fornisce una rappresentazione grafica del modo di variare della pressione nel cilindro motore, in funzione dello spostamento dello stantuffo.

La differenza sostanziale nei due tipi di cicli risiede nella combustione. Infatti nel **ciclo Otto** il calore prodotto dal combustibile viene comunicato al fluido mediante una combustione rapidissima e, per tale ragione, a volume sensibilmente costante **(CB COMBUSTIONE).**

Nel ciclo Diesel, invece, la combustione procede man mano che il combustibile viene mandato nel cilindro, e può essere meglio assimilata nel diagramma ad una linea a pressione costante.

Per il resto, si hanno per entrambi i cicli una compressione adiabatica AB ed una espansione adiabatica CD, nonchè una linea a volume costante DA. Tra le varie informazioni che possono dedursi dai diagrammi c'è il rendimento del ciclo: questi è un parametro che esprime un rapporto fra il lavoro ottenuto e il calore fornito.

$\eta = \frac{L}{Q}$ **ora essendo il L = Q1 - Q2 si ottiene** $\eta = 1 - \frac{Q2}{Q1}$ da cui si vede che il rendimento di una macchina termica è sempre <1 (come si evince dal secondo principio della termodinamica) e dipende dalla quantità di calore fornite e cedute dal fluido motore: Dai cicli si nota che la compressione AB è molto più spinta nel caso del ciclo Diesel, a causa del fatto che bisogna raggiungere la temperatura di ignizione della miscela, cosa che non succede nel motore a candela.

CICLO A 4 TEMPI MOTORE A CARBURAZIONE
P
4
Ciclo teorico
Ciclo pratico
3
5
6
1
2
PMS
PMI
V
MOTORE 4 TEMPI
Ciclo pratico e ciclo teorico di funzionamento
P
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
Pressioni in atm.
Ciclo teorico
Ciclo pratico
O
V

§ 4 - Considerazioni sui motori a combustione interna (C.I.)

E' noto che il lavoro raccolto nelle macchine alternative è materialmente eseguito da un fluido che agisce con le sue pressioni sullo stantuffo; la qualifica interna, data alla combustione, significa che avviene in seno al fluido attivo. Poichè tale qualifica viene usata per le macchine alternative e non rotative significa che la combustione avviene all'interno del cilindro motore. Questi fatti, pertanto, portano a pensare che, rispetto agli impianti a turbina, gli impianti a M.C.I. costituiscano una grande semplificazione, ed abbiano un rendimento maggiore. Questi vantaggi, del resto solo apparenti, vengono in parte scontati da limitazioni, complicazioni e perdite particolari sicchè il motore a combustione interna non ha soppiantato tutti i motori a vapore e le turbine a vapore di piccola potenza. I motori a C.I. possono essere razionalmente classificati nelle due grandi categorie seguenti:

1) MOTORI AD ACCENSIONE COMANDATI (generalmente a scintilla) e successiva propagazione della fiamma nella miscela preformata in seguito ad una carburazione;

2) MOTORI AD ACCENSIONE SPONTANEA a combustione graduata dalla iniezione. Sono detti anche **Diesel**.

§ 5 - Cinematica del motore alternativo a C.I.

Il motore a C.I. nacque all'incirca metà del 1800, subendo successivamente una serie di trasformazioni evolutive, finchè agli inizi del '900 raggiunse quella forma costruttiva che, in linea di massima, è anche l'odierna.

I M.C.I. alternativi sono macchine volumetriche: il fluido normalmente entra dentro al vano individuato dal pistone nel cilindro relativo, poi si trasforma, chimicamente seguendo opportune trasformazioni termodinamiche, ma sempre restando nello stesso vano e in quantità fissata.

Il cinematismo principale del motore, ovvero l'insieme di elementi che ha il compito di trasformare il moto rettilineo sempre alternativo del pistone in quello rotorio dell'albero motore, è il manovellismo ordinario centrato biella-manovella.

La manovella, con la sua rotazione, muove la biella, che è collegata al pistone tramite il cosidetto "spinotto". Ovviamente la velocità angolare omega "Ω" della manovella non è costante e ciò è da imputarsi al fatto che il momento motore delle macchine a stantuffo, anche con molti cilindri, non è mai uniforme.

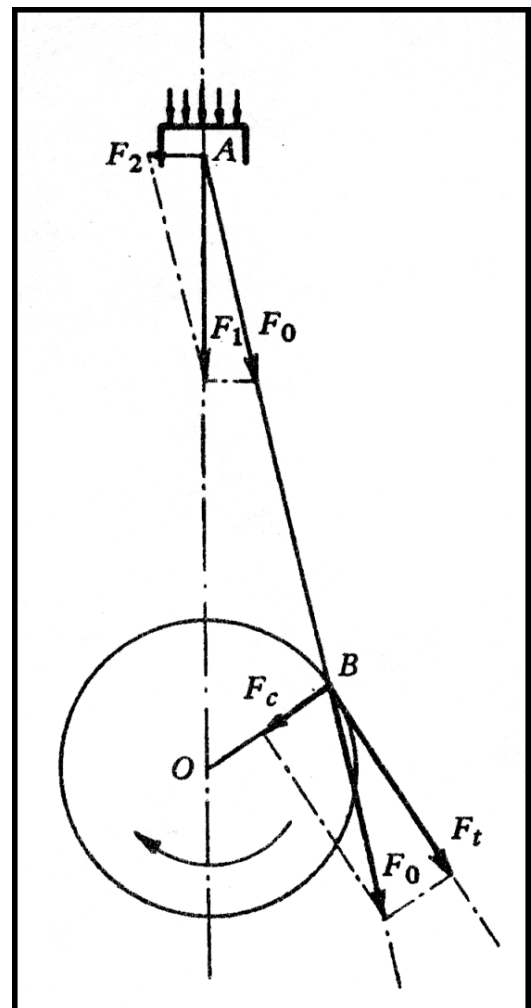
biella-manovella

Tale velocità partirà da un valore nullo in corrispondenza di uno dei p.m. Assumerà un valore massimo per poi annullarsi di nuovo in corrispondenza dell'altro p.m., successivamente il pistone invertirà il proprio senso di moto e la velocità eseguirà la stessa storia. Dunque il pistone nella sua corsa prima ascendente e poi discendente, fra i due punti morti *"spazza"* un certo volume, indicando ora con:

1) C - distanza tra p.m.i. e p.m.s.

2) D - diametro del cilindro

Il volume "spazzato" dallo stantuffo è :

II D^2 \ 4 • C = V (cilindrata geometrica)

Ovviamente al p.m.s., lo stantuffo è vicino al cielo del cilindro, per cui si ha un certo volume V2 non interessato alla corsa del pistone, che viene detto : **V2 volume della camera di compressione**; pertanto quando in pistone torna al p.m.i. al di sopra di esso rimane individuato un volume totale di **V1:**
V1= V2+V. Queste considerazioni sono necessarie per introdurre una nuova grandezza molto importante per lo studio dei motori: **rapporto geometrico di compressione S= V1/V2** che varia tra i seguenti valori a seconda del tipo di motore:
S = 8 - 12 Motori ad accensione comandata
S =14 - 24 Motori diesel
Considerato un cilindro verticale munito di 2 valvole, ecco una schematizzazione delle varie fasi operative.
Vedere schema pagina seguente

ASPIRAZIONE: lo stantuffo scende e richiama nel cilindro attraverso la V.A. (valvola di aspirazione) una corrente di aria che, attraversando il carburatore (nel caso di motori ad accensione comandata), si è arricchito di vapori e goccioline di combustibile.

COMPRESSIONE: lo stantuffo risale dal p.m.i. verso il p.m.s., le valvole sono chiuse, quindi la miscela viene compressa nel volumeV2.

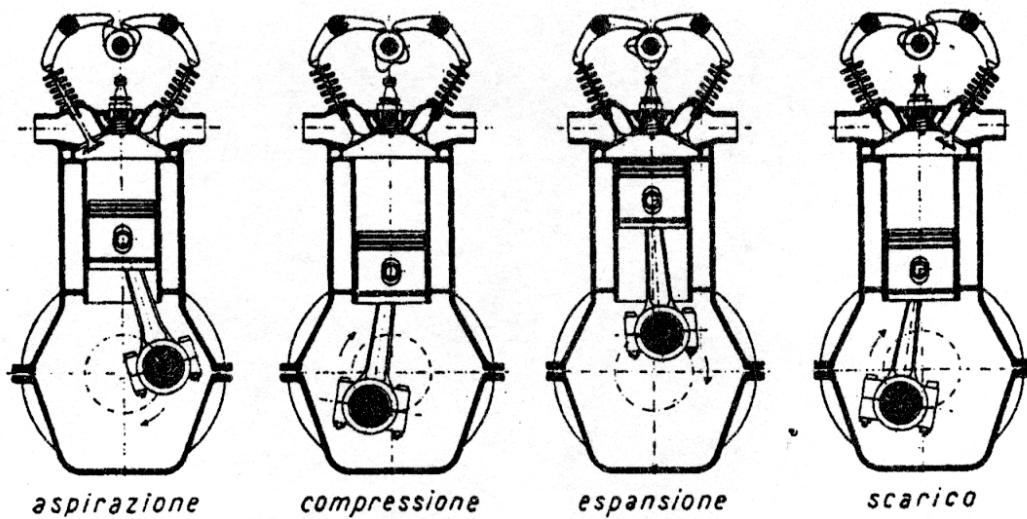
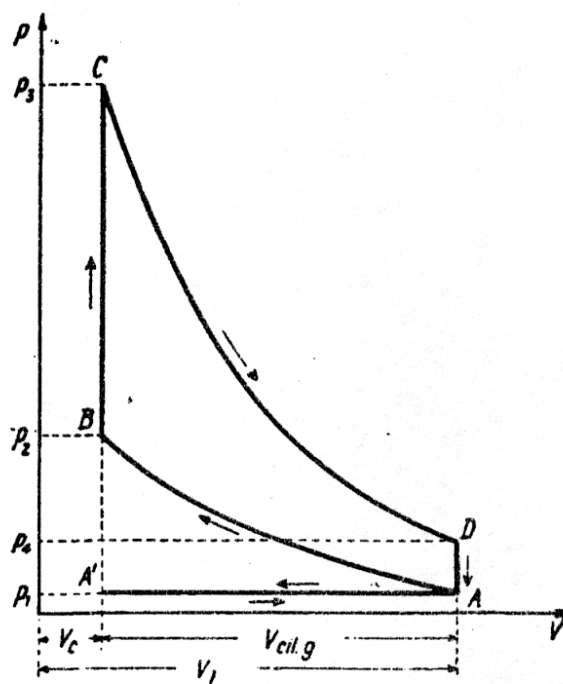
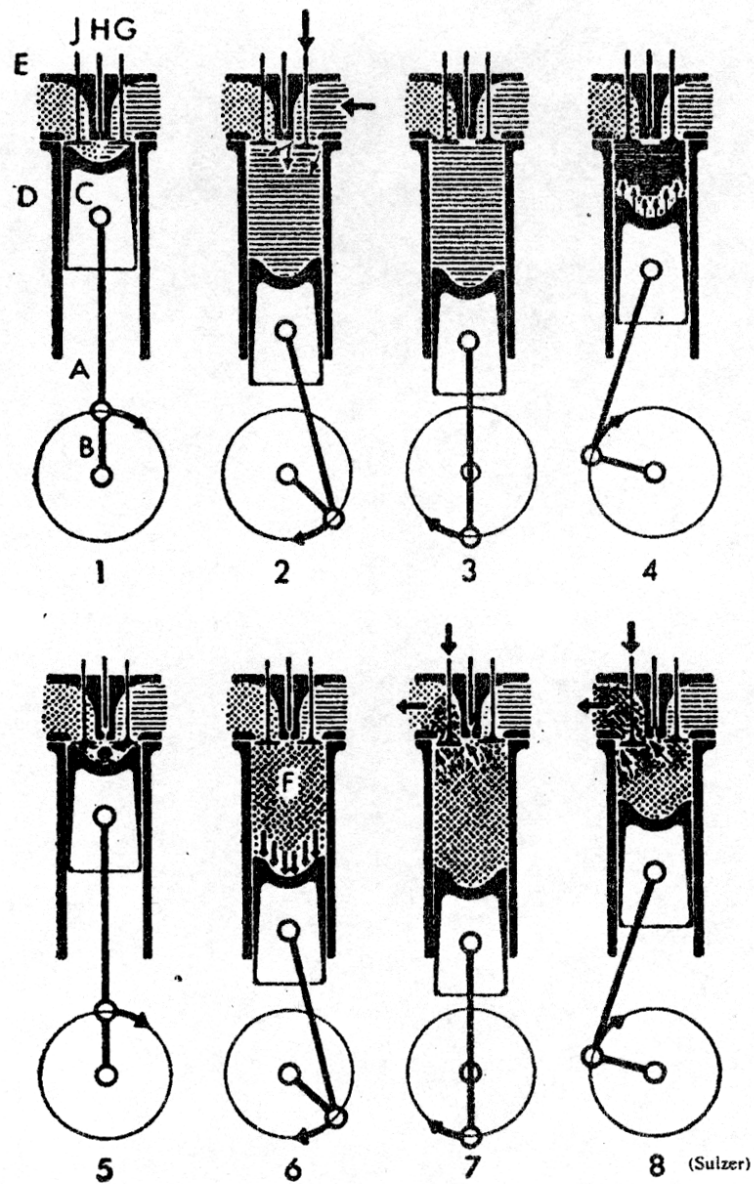
COMBUSTIONE: poco prima che il pistone raggiunga il p.m.s. scocca la scintilla tra gli elettrodi di una candela accendendo la miscela che la circonda: da quel punto la combustione si propaga a tutto il resto della miscela mentre la pressione aumenta rapidamente.

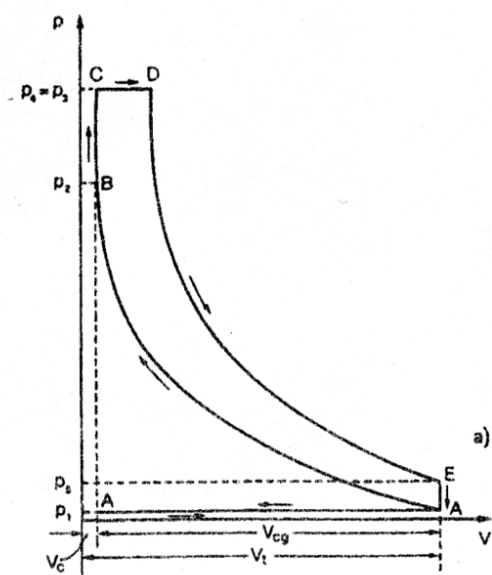
ESPANSIONE: lo stantuffo ridiscende, spinto dall’espansione dei gas combusti.

SCARICO: poco prima che lo stantuffo abbia raggiunto il p.m.i. si apre la V.S. (valvola di scarico): i gas che nel cilindro si trovano ancora a pressione superiore all’esterno, si scaricano rapidamente lasciando tuttavia il cilindro pieno di residui a pressione atmosferica.

ESPULSIONE: nella successiva corsa di solito lo stantuffo caccia fuori dalla V.S. la maggior parte dei residui, di cui così resta solo ciò che riempie lo spazio morto V2.

Ci siamo riferiti ad un motore ad accensione comandata, ma le stesse cose possono dirsi per un motore ad accensione spontanea; le uniche differenze risiedono nella **ASPIRAZIONE, COMPRESSIONE E INIEZIONE-COMBUSTIONE**; infatti durante l’**ASPIRAZIONE** in questi motori lo stantuffo **richiama aria pura**. La compressione è tale che l’aria raggiunge valori di **“T”** e **“P”** “abbastanza” elevati, quindi un “omega” elevato; mentre nella fase di **INIEZIONE-COMBUSTIONE** lo stantuffo prima di raggiungere il p.m.s., l’iniettore lancia nel cilindro la nafta finemente suddivisa; trovando l’aria fortemente riscaldata dalla compressione, la nafta si accende e brucia mano mano che viene iniettata.
Vedere schema pagina seguente

Appare chiaro, da quanto fino ad ora detto, che il ciclo descritto appartiene ad un motore a quattro tempi, la cui caratteristica fondamentale è che un ciclo di funzionamento viene realizzato ogni due giri completi della manovella.
Tutte la fasi sino ad ora descritte possono essere rappresentate,a comporre il ciclo motore in alcuni diagrammi molto utili dal punto di vista didattico per lo studio dei motori, prima di parlare di questi diagrammi è opportuno esaminare alcune grandezze fisiche e termodinamiche indispensabili per lo studio di tali diagrammi.

– Schema funzionamento motore a carburazione a quattro tempi.

– Diagramma teorico motore a carburazione a 4 tempi.

– Schema funzionamento motore Diesel a quattro tempi.

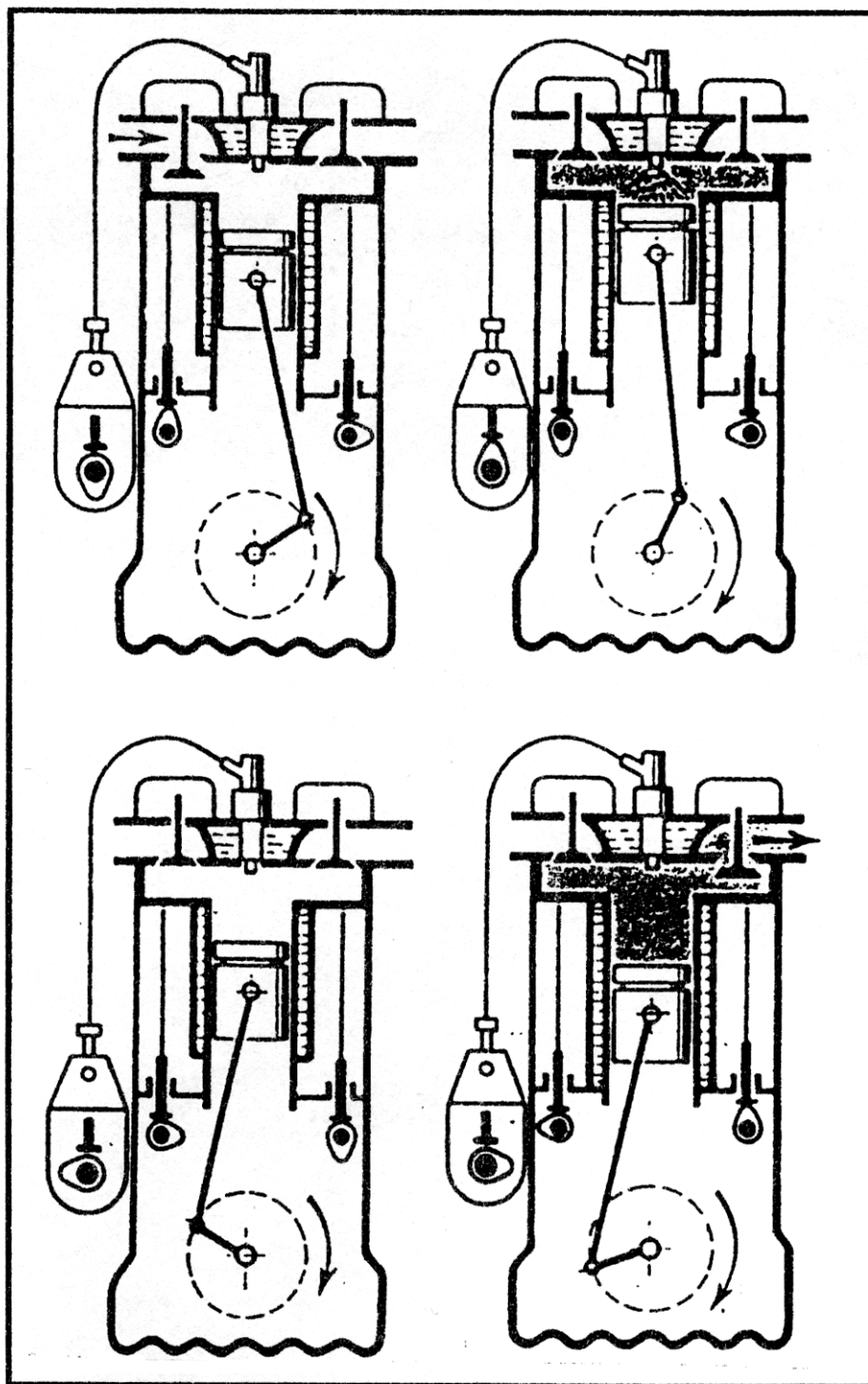
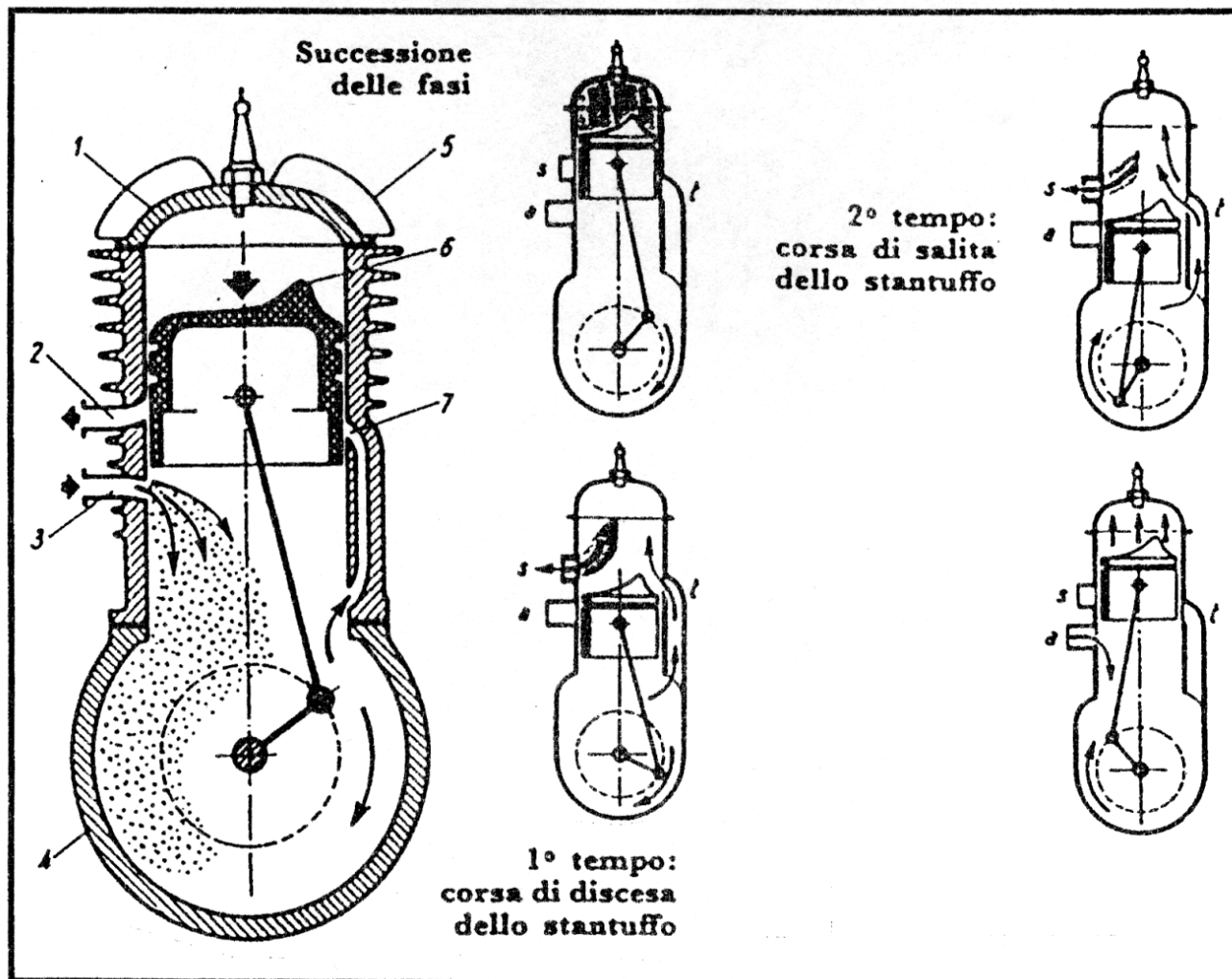
– Diagramma teorico motore Diesel a 4 tempi.

§ 5 bis - Motori Diesel a 2 e a 4 tempi

La figura rappresenta schematicamente la successione delle fasi nel cilindro motore di un diesel 4T ad aspirazione naturale. **Considerando il caso ideale,** si distinguono le seguenti fasi operative.

a) Aspirazione a pressione costante nell'istante in cui lo stantuffo si trova al pms, si apre la valvola di aspirazione e durante la corsa discendente si ha aspirazione di aria fresca alla pressione atmosferica a fine corsa, si chiuderà la valvola di aspirazione e nel cilindro sarà contenuta una cilindrata di aria fresca.

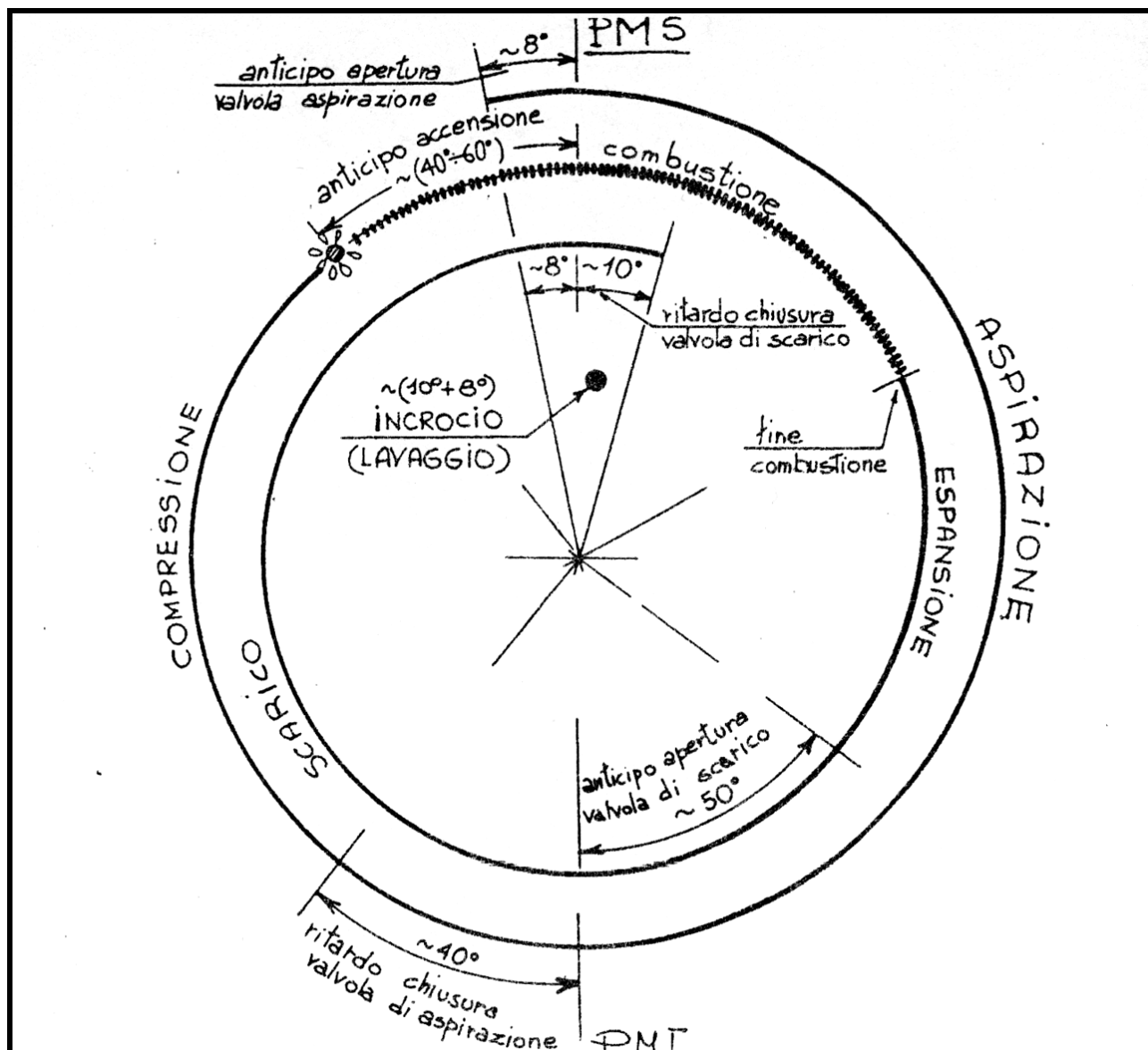
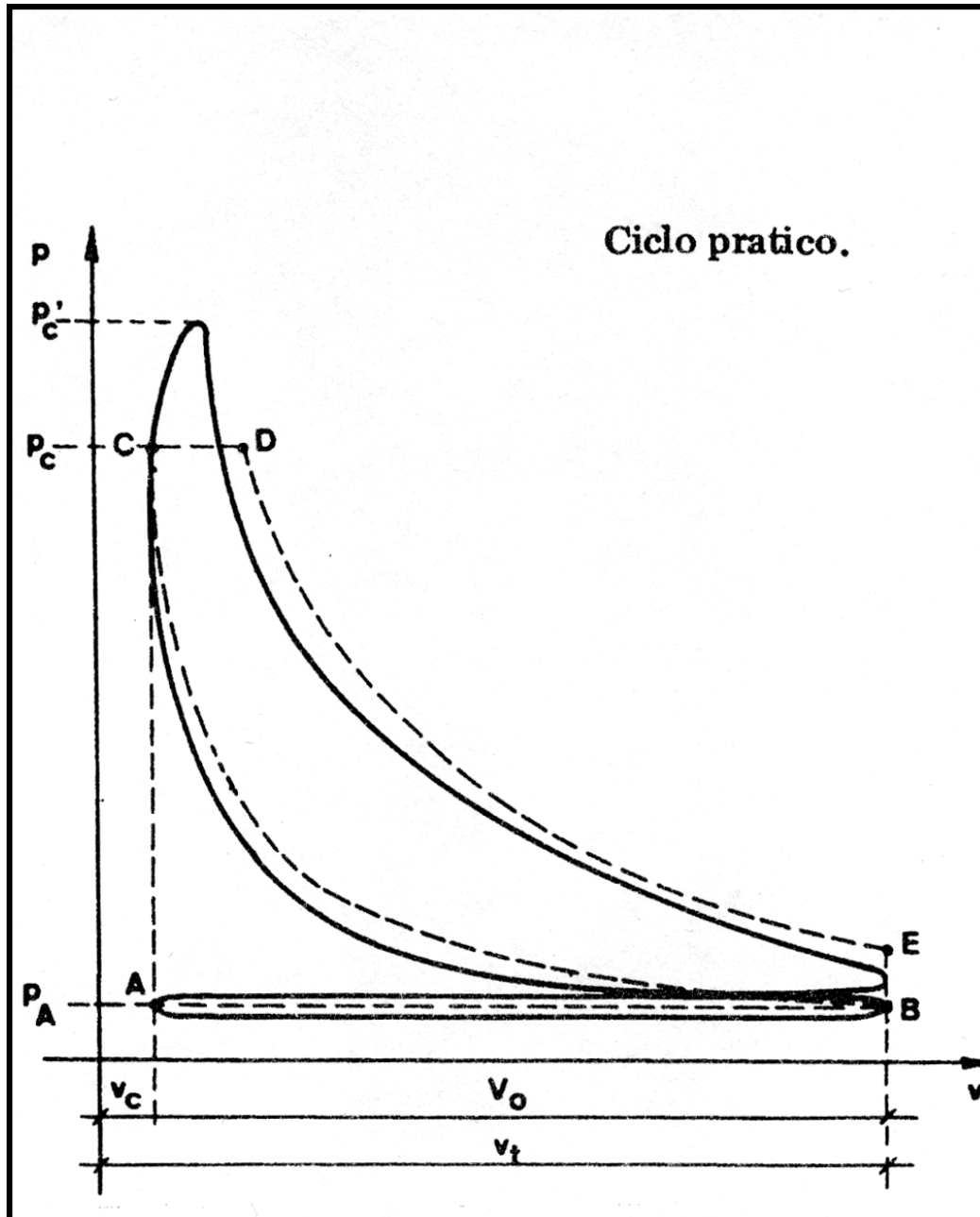
b) Compressione adiabatica: nella successiva corsa ascendente lo stantuffo comprime l'aria sino a raggiungere nella camera di compressione una **p=35-40 bar** e una **T=550 °C** in modo da permettere l'accensione spontanea del combustibile che verrà iniettati in seno all'aria calda.

c) Iniezione e combustione a volume costante: in corrispondenza del pms ha inizio la fase di alimentazione del combustibile finemente polverizzato che, a contatto con l'aria ad elevata temperatura, si infiamma spontaneamente senza alcuna sorgente di accensione artificiale, e si suppone teoricamente che le minutissime goccioline brucino istantaneamente determinando un repentino innalzamento di pressione e temperatura mentre lo stantuffo è fermo al pms.

d) Iniezione e combustione a pressione costante: man mano che le microscopiche goccioline entrano nel cilindro lo stantuffo compie un primo tratto della discendente e la combustione si svolge gradualmente. Quindi, l'aumento della pressione dovuto alla combustione è compensato dall'aumento di volume offerto al fluido. Pertanto, la seconda parte della combustione si svolge a pressione

costante; a fine combustione si raggiungono nel cilindro temperature intorno ai **2000°C.**
e) Espansione adiabatica: i gas combusti fortemente compressi si espandono compiendo un lavoro utile sullo stantuffo che viene spinto verso il basso e l'espansione, che si suppone adiabatica, continua fino al pmi. Il fluido operante riprende un volume uguale a quello di inizio compressione ma con una pressione maggiore **(3-4bar**).
f) Scarico spontaneo e scarico forzato: i gas combusti fuoriescono spontaneamente, grazie alla pressione non appena si apre la valvola di scarico, ciò fino a quando la pressione all'interno del cilindro uguaglia la pressione atmosferica, dopodichè i gas escono spinti dallo stantuffo.

Nella figura è rappresentata schematicamente la successione delle fasi di un motore Diesel 2T. Costruttivamente esso si differenzia da quello 4T per **la mancanza di valvole e tutti i cinematismi atti a comandarle** (questo è uno dei pregi del 2T). Il ciclo è identico a quello per il motore 4T dove, però, **mancano le due fasi di pompaggio**. Le valvole di aspirazione e scarico sono sostituite da due serie di feritoie situate perifericamente sul cilindro, in prossimità del pmi. Una parte di esse dette **luci di scarico** servono per l'espulsione dei fumi, le altre, dette **luci di lavaggio** hanno altezza minore e servono per l'introduzione della carica fresca, l'apertura e la chiusura di tali luci viene effettuata dallo stesso stantuffo motore durante la sua corsa. Il funzionamento è il seguente: avvenuta l'accensione lo stantuffo scende verso il pmi, permettendo cosi l'espansione del fluido. A circa **60°** prima del pmi, il pistone scopre la luce di scarico quindi la pressione scende da **4-7MPa** a quasi quella atmosferica. Pochi gradi dopo, lo stantuffo scopre quelle di lavaggio dalle quali può entrare nel cilindro il fluido motore (aria) che è inviato sotto una pressione di **3-5atm.** da una opportuna pompa **(pompa di lavaggio)**. In tal modo il fumo nonche una parte di aria fresca, viene espulsa dalle luci di scarico. Tutta questa fase di **lavaggio** deve realizzarsi in pochi gradi di manovella intorno

al pmi. Il pistone ricomincia dopo a risalire sino ad iniziare la compressione dopo aver chiuso ambedue le serie di luci. Il problema fondamentale dei grandi motori 2T è il lavaggio.

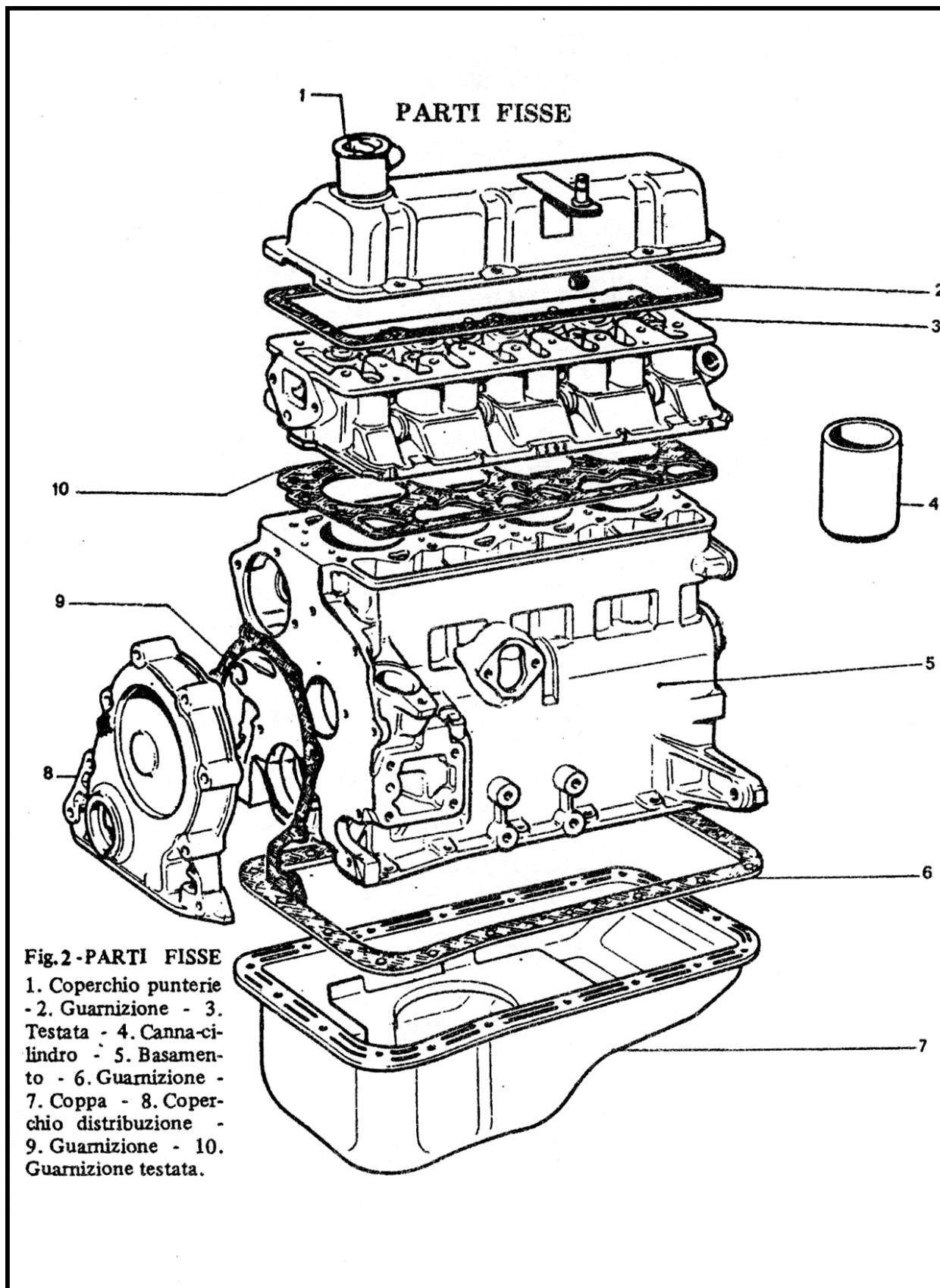
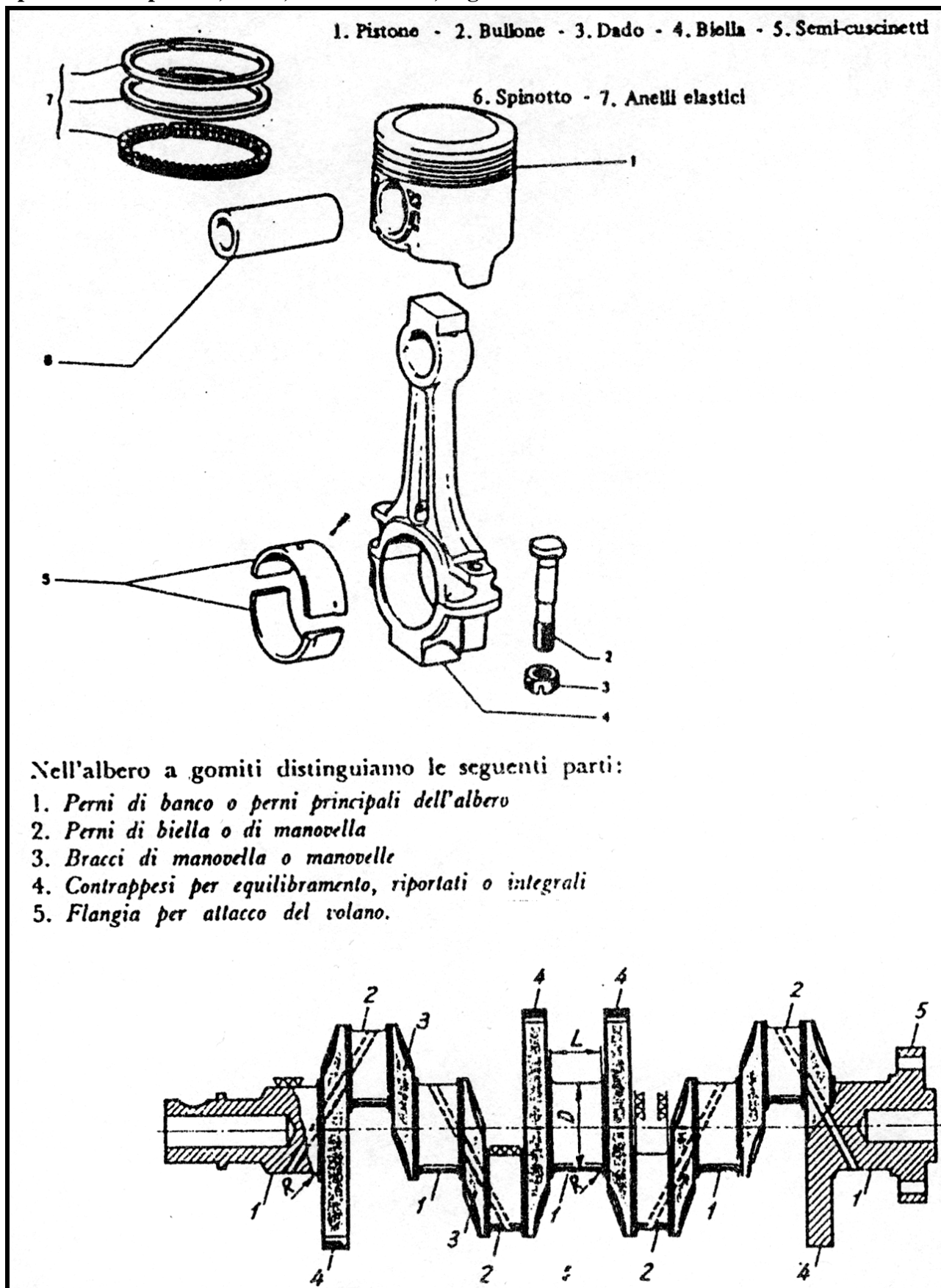
LAVAGGIO: in alcuni motori di piccole dimensioni si usufruisce come pompa di lavaggio lo stesso stantuffo motore, che nella corsa discendente, comprime l'aria nel carter opportunamente reso stagno. Cosi facendo la cilindrata della pompa di lavaggio risulta uguale alla cilindrata motrice; inevitabilmente una parte di aria fresca esce dalle luci di lavaggio con la conseguente perdita di lavoro di pompaggio; a questa grave causa di imperfetto lavaggio si aggiunge quella della scarsa utilizzazione della cilindrata come pompa. I piu diffusi sistemi di lavaggio sono: **lavaggio a correnti incrociate (a cappio), lavaggio M.A.N., lavaggio unidirezionale.**

CICLO REALE: il ciclo termodinamico del fluido motore che effettivamente evolve all'interno del cilindro motore reale è alquanto diverso dal ciclo teorico, ovvero **le varie fasi non corrispondono esattamente alle varie corse dello stantuffo.** Le valvole in un motore 4T, sia in fase di apertura che di chiusura, creano dei passaggi molto ridotti per cui il fluido subisce forti laminazioni, con conseguente caduta di pressione quindi di efflusso, appare chiaro quindi la convenienza di effettuare in pratica un anticipo di apertura della valvola di aspirazione e una posticipazione nella chiusura della valvola di scarico. Lo scopo è quello di avere le valvole completamente aperte all'inizio e al termine della corsa di aspirazione. Anche per l'iniezione del combustibile, si ha un certo anticipo rispetto al pms, in quando la nafta entrata nel cilindro impiega per accendersi un certo tempo che, per quando breve non è mai trascurabile.

Nello scarico dei gas combusti si hanno problemi simili all'aspirazione quindi anche qui si realizzano dei anticipi e dei ritardi per l'apertura e la chiusura delle valvole di scarico.
Altre cause rilevanti che rendono il ciclo reale diverso da quello teorico sono l'accumulo delle prime goccioline di combustibile nelle pareti del cilindro che determinano durante la combustione dei rilevanti aumenti di pressione e la non adiabaticità delle fasi di compressione e di espansione. Per tutte queste cause il ciclo reale (ciclo indicato) è notevolmente diverso da quello teorico.

Nella figura, sono stati messi a confronto i due cicli di funzionamento. Si nota la minore aria racchiusa dal ciclo reale che sta ad indicare la minore potenza sviluppata dal motore rispetto a quella calcolata con il ciclo teorico.

§ 6 - Nomenclatura dei vari organi costituenti i M.C.I.

Gli organi principali costituenti un M.C.I. possono essere suddivisi in due gruppi:

- parti fisse: basamento, cilindro, testata, coppa;

Fig. 2 - PARTI FISSE 1. Coperchio punterie - 2. Guarnizione - 3. Testata - 4. Canna-cilindro - 5. Basamento - 6. Guarnizione - 7. Coppa - 8. Coperchio distribuzione - 9. Guarnizione - 10. Guarnizione testata.

- parti mobili: pistone, biella, albero motore, organi della distribuzione

Dalle figure si nota che ci sono molti altri elementi che non sono mensionati nella suddivisione precedente, anche se di secondaria importanza essi sono fondamentali per il buon accoppiamento dei vari organi e il regolare funzionamento del motore.

ORGANI FISSI

Basamento: costituisce la parte inferiore della struttura resistente del motore su esso sono realizzati i cilindri e le sedi per i cuscinetti di banco su cui appoggia l'albero motore.

Cilindro: è quel volume in cui avviene la trasformazione dell'energia termica in energia meccanica. Esso è costituito da un involucro cilindrico che avvolge la camicia e forma con essa una intercapedine in cui circola il fluido refrigerante; la camicia ha forma di tubo cilindrico realizzata di pezzo con il basamento o riportata, nei motori 2T sono praticate delle aperture per l'immissione dell'aria di lavaggio e per lo scarico dei gas combusti. Generalmente i cilindri sono costruiti in blocco, nei grandi motori sono isolati per poi essere accoppiati rigidamente fra loro.

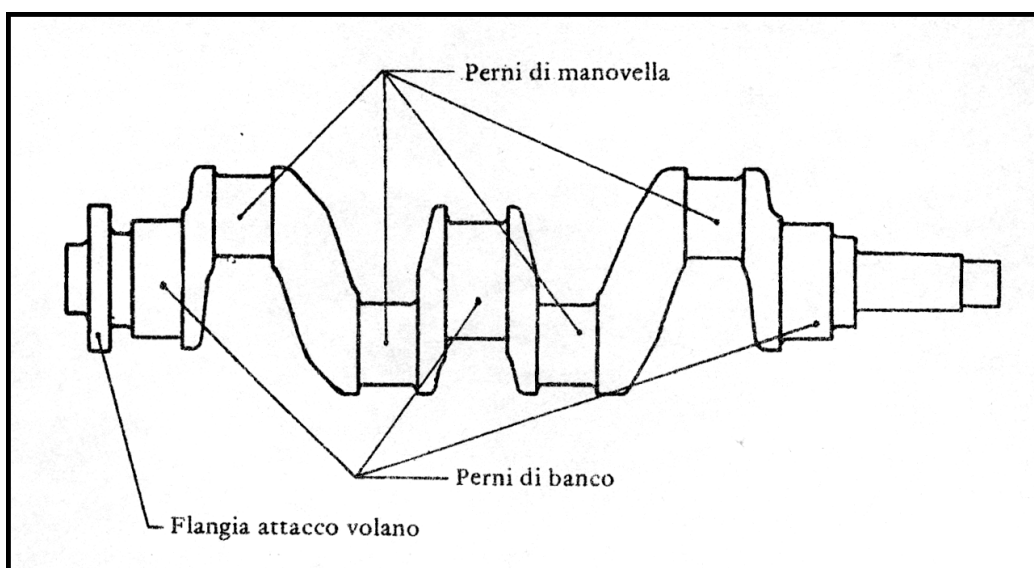
Testata: questa costituisce assieme alla camicia una delle parti che delimitano la camera di combustione ed ha il compito di chiudere superiormente il cilindro; è di costruzione diversa a seconda che si tratti di motori 4T o 2T, nel primo caso su essa si trovano le sedi per l'iniettore e le valvole di aspirazione e scarico, nel secondo caso vengono a mancare gli alloggiamenti per le valvole quindi è piu semplice. Anche nella testata si trovano delle intercapedini per la circolazione del fluido refrigerante.

Coppa: essa non è che un involucro in cui si raccoglie l'olio lubrificante e chiude inferiormente il basamento.

ORGANI MOBILI

Pistone: elemento cilindrico animato di moto alternativo avente il compito di raccogliere la spinta dei gas e trasmetterla attraverso gli organi di collegamento all'albero motore. Allo scopo di ridurre al minimo le fughe di gas, con una conseguente perdita di spinta quindi potenza e rendimento, la tenuta tra stantuffo e cilindro è assicurata da appositi anelli di acciaio o ghisa speciale detti anche **fasce elastich**e. Queste sono posizionate in corrispondenza della parte superiore del pistone ed alcune esse hanno forma particolare e sono dette fasce raschia olio, il loro compito quindi e quello di impedire la presenza di olio lubrificante nella camera di combustione.

Biella: costituita da un'asta con sezione circolare oppure a doppio T serve a trasmettere il moto del pistone all'albero motore ed è collegata ad essi tramite due perni **lo spinotto** che la collega al pistone e il **perno di manovella** che la collega all'albero motore.

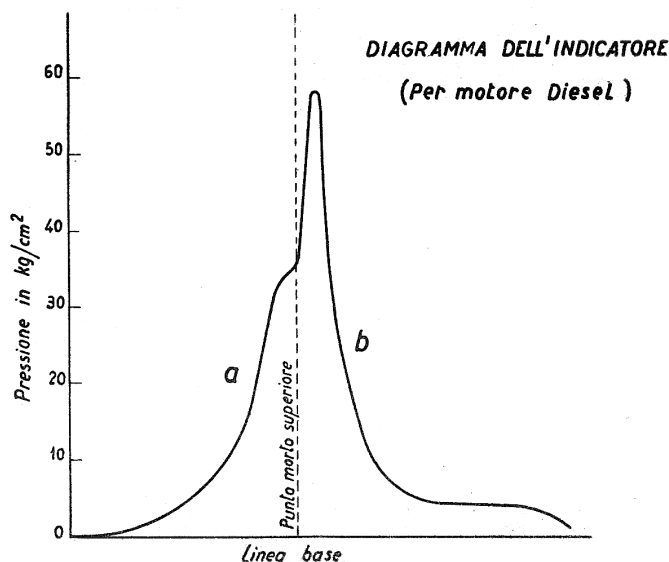
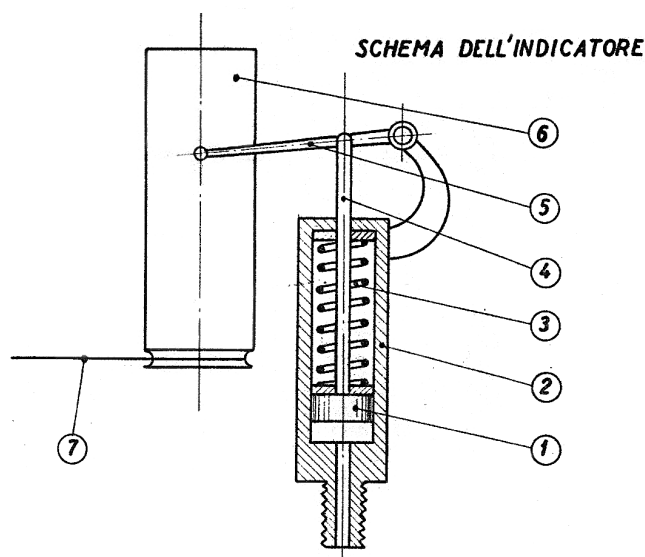
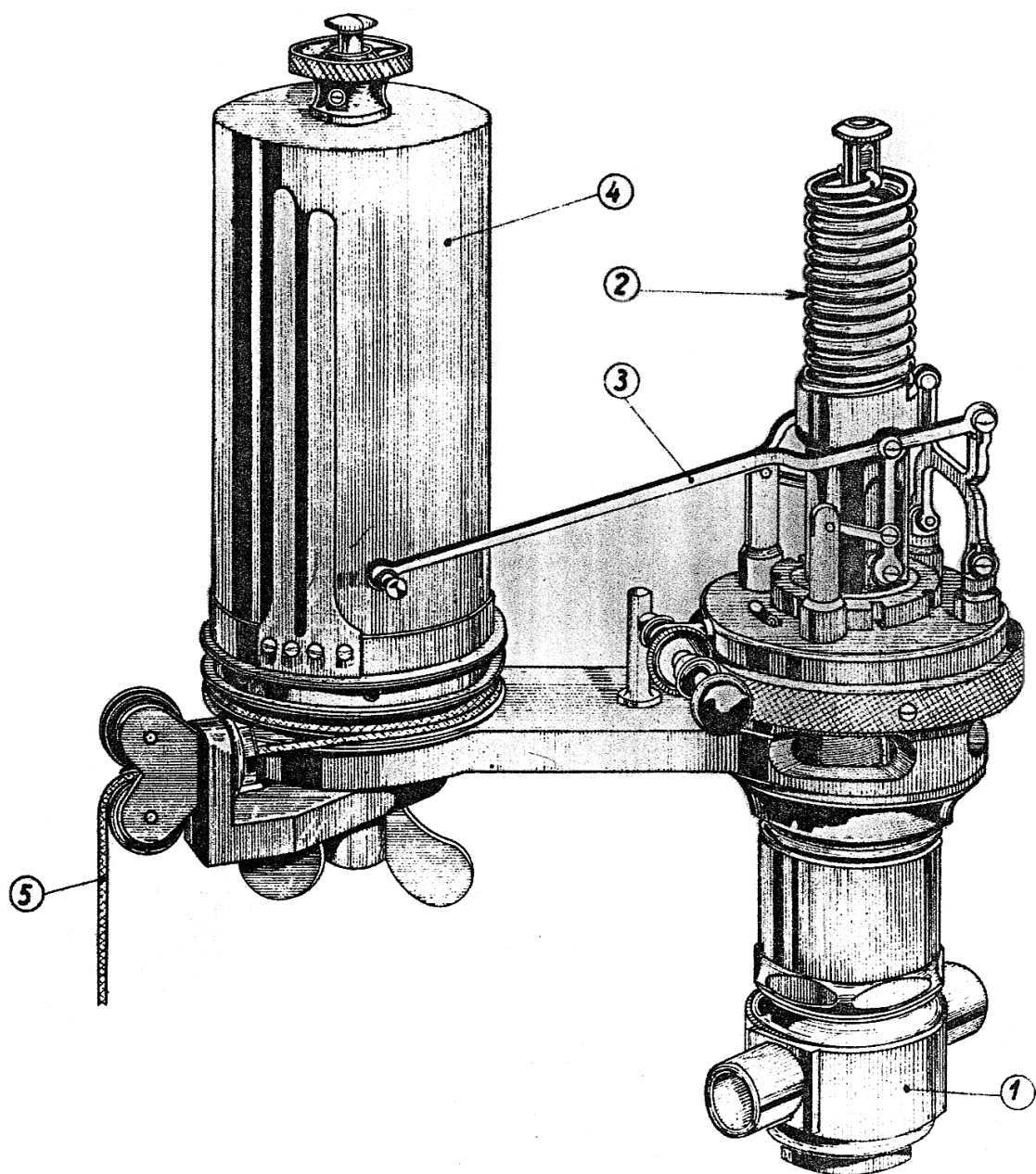
Albero motore: è l'organo che rende disponibile ad una delle sue estremità, tramite una **flangia di accoppiamento** la potenza sviluppata dal motore; la caratteristica essenziale degli alberi a gomiti è lo sfasamento angolare dei vari gomiti.

Esiste una **norma indicativa** che fissa l'angolo fra le manovelle dei cilindri in cui si verificano due accensioni successive: per i **2T 360°/n** e per i **4T 720°/n**, dove n sta per il numero dei cilindri.
I principali elementi di collegamento tra parti mobili in moto relativo rotatorio tra loro sono realizzati da **cuscinetti**; questi possono essere **portanti o reggispinta** a seconda che il carico che sopportano è diretto ortogonalmente o parallelamente all'asse di rotazione. Entrambi i tipi vengono realizzati con due diverse costruzioni: **a strisciamento o a rotolamento**. In quelli a strisciamento tra parte mobile e fissa non vi è alcuno organo eccetto il velo di lubrificante, pertanto si viene a creare tra gli elementi in moto relativo un sottile spazio a spessore variabile in cui l'olio raggiunge pressioni tali da sopportare il carico (regime idrodinamico), particolarmente importanti sono i **cuscinetti reggispinta assiali MICHELL** in cui la parte fissa invece di essere piana è realizzata da tante piastrine orientabili a forma di settore circolare le quali hanno il compito di generare, in un certo campo di velocità relativa, il meato (apertura, spazio) a spessore variabile. Quelli a rotolamento, detti anche a **rulli o a sfere**, sono realizzati in modo che tra le parti in moto relativo (tra anello esterno e anello interno) trovino posto una o piu file di rulli o sfere.

§ 7 - Materiali costituenti i vari organi del motore

Tutti gli organi del motore sono soggetti ad un insieme di azioni termomeccaniche nonchè chimiche. Esse possono compromettere, se non opportunamente controllate, il buon funzionamento del motore. Il dimensionamento di ogni singolo elemento costituente il motore viene eseguito in modo da offrire un certo grado di sicurezza e, quindi, affidabilità durante il funzionamento. Ciò viene garantito da una buona stabilità meccanica dello stesso e da un'opportuna scelta del materiale costituente l'elemento. Generalmente, i materiali maggiormante usati nella realizzazione dei principali elementi di un motore sono: **acciai, acciai speciali, ghise, leghe leggere ec**c.

- Materiali che compongono i principali elementi del motore

Basamenti a canne integrali	ghisa grigia
Basamenti a canne riportate	leghe leggere o ghisa
Testate	leghe leggere o ghisa
Sede valvole	ghisa
Guida valvole	ghisa o bronzo
Pistone	leghe leggere
Fasce elastiche	ghisa grigia
Spinotto	acciaio
Cuscinetti di biella e di banco	metallo antifrizione (bronzo)
Collettore aspirazione	leghe leggere
Collettore scarico	ghisa grigia
Valvole	acciaio con rivestimento del piattello in stellite
Molle di richiamo	acciaio
Albero a gomito	acciaio

- Indicatori
Gli indicatori sono strumenti che servono a rilevare l'andamento delle pressioni nell'interno del cilindro durante lo svolgersi delle fasi.
Daremo un breve cenno degli indicatori meccanici che sono quelli che si adoperano comunemente sui motori.
L'indicatore meccanico nella sua forma più schematica (ved. figura allegata) consta di uno stantuffo 1 che scorre entro un cilindretto 2 il quale nella parte inferiore viene avviato sulla testa del motore. I gas del cilindro arrivano nell'interno di questo cilindretto e provocano una pressione sulla faccia inferiore dello stantuffo mentre la faccia superiore è caricata da una molla antagonista 3. La molla è tarata in modo che di essa si conosce lo sforzo per ogni millimetro di accorciamento.
Gli spostamenti dello stantuffo vengono trasmessi per mezzo di una asta ad una leva 5 collegata ad una delle estremità ad un perno fisso, mentre all'altro estremo porta un indice scrivente su una tamburo 6. La leva ingrandisce gli spostamenti dello stantuffo. Il tamburo viene fatto ruotare dal tiro di una funicella 7 che vince l'azione di una molla antagonista situata nell'interno del tamburo.
Volendo rilevare la fase di compressione e di espansione di un motore, basta tirare la funicella nel tempo in cui lo stantuffo esegue una salita ed una discesa, tenendo premuto l'indice scrivente sul tamburo.
Il diagramma che si ottiene in Diesel è del tipo segnato nella figura. In esso la curva a) rappresenta la fase di compressione, la curva b) la fase di espansione.
Ogni indicatore è tarato, e cioè porta con sé un numero che corrisponde alla pressione in Kg/cmq. per ogni millimetro di altezza del diagramma rilevato.
Comandando la fune con un manovellismo riproducente il modo dello stantuffo motore, il diagramma che si ottiene rappresenta il ciclo indicato.

INDICATORE

① *Anello p. fissaggio indicatore al tubo spia del cilindro*

② *Molla tarata*

③ *Leva con indice scrivente*

④ *Tamburo*

⑤ *Funicella per comando tamburo*

§8 - Espressione della potenza

- Espressione della pressione media indicata e della potenza.

Dalla fisica sappiamo che se una forza F applicata ad un corpo, fa percorrere a questo uno spazio S, si produce un lavoro L, pari ad L = F x S. Se la forza viene espressa in chilogrammi (Kg) e lo spazio in metri (m), il lavoro prodotto sarà in chilogrammetri (Kgm). Nel caso del cilindro motore la forza F è rappresentata dalla pressione del gas, lo spostamento S è dato dalla corsa dello stantuffo, misurata in metri. Sappiamo però che la pressione dei gas sullo stantuffo non mantiene un valore costante durante tutta la corsa; ma varia continuamente con l'aumentare del volume. Ne risulta di conseguenza un lavoro la cui intensità varia ad ogni istante. Per facilitare quindi il calcolo del lavoro prodotto, bisogna trovare la pressione media, cioè quella pressione costante immaginaria che noi supponiamo agisca sullo stantuffo per tutta la corsa utile, sviluppando un lavoro esattamente uguale a quello sviluppato dalle varie pressioni reali agenti sullo stantuffo durante tutto il ciclo.

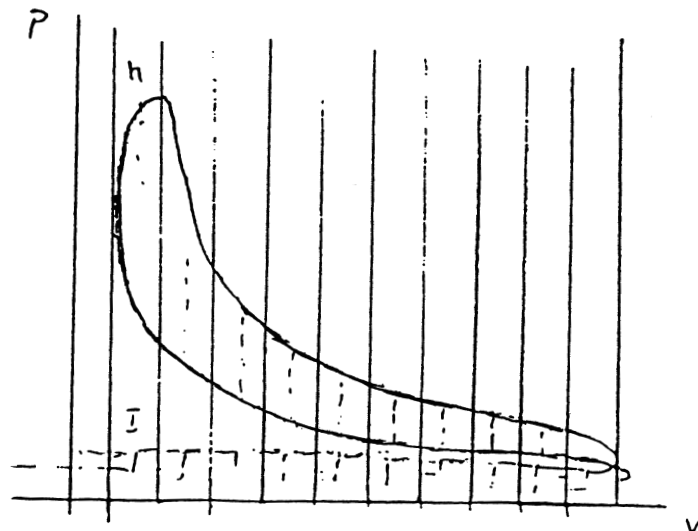
La pressione media si calcola facilmente a mezzo del diagramma indicato nel seguente modo: - Immaginiamo un diagramma P V di un motore Diesel a 4 tempi, ricavato mediante l'indicatore di pressione, la superficie del diagramma si racchiude fra due rette parallele e si divide il diagramma stesso in un certo numero di parti, per esempio dieci, mediante rette verticali equidistanti, al centro di ogni divisione ottenuta si tracci un'altra linea tratteggiata che si contrassegna con la lettera h, (vedi figura). Sommando dette altezze e dividendo la loro somma per il loro numero, (nel nostro caso dieci), si ottiene così l'altezza media o l'ordinata media del diagramma.

Analogamente si opera per ogni tratto di lavoro passivo che si svolge alla pressione media parziale I, determinando pure in questo la media totale se trattasi di .motore veloce, mentre nei motori lenti la linea di aspirazione e di scarico si confondono nel grafico.

Sottraendo quindi dall'altezza media Im, l'altezza, si ricava la pressione media che produce il lavoro utile (del ciclo)..

Il valore lineare della pressione media, così ottenuto si trasforma in valore dinamometrico, cioè in Kg./cmq., tenendo presente la taratura del molla dell'indicatore, ossia lo spostamento verticale in millimetri dall'apparecchio

$$\frac{hm}{K} = \text{pmi in kg./cmq}$$

dove K indica la taratura della molla dell'indicatore

- Calcolo della potenza indicata

Determinata la pmi, si procede al calcolo della potenza indicata, che esprime il lavoro utile svolto dallo stantuffo al minuto secondo. Perché ciò possa calcolarsi, bisogna conoscere i dati caratteristici del motore cioè: - C = corsa; D = alesaggio del cilindro; n = numero di giri al minuto primo; Nc = numero dei cilindri ed inoltre il tipo del motore se a 2 o 8 tempi. Partendo dalla formula a noi già nota per il calcolo della potenza della motrice alternativa a vapore ed aggiungendo alla stessa i dati inerenti il motore, avremo come formula generica:

$$Pi = pmi \; 10000 \; \frac{\pi D^2}{4} \; \frac{2\,C\,n}{60 \times 75} \; Nc \; \frac{e}{t}$$

Raggruppando i fattori numerici della formula avremo:

$$\frac{10000 \quad 3{,}14 \quad 2}{4 \quad 60 \quad 75} = 3{,}49$$

Sostituendo nella prima formula si ha:

$$Pi = 3{,}49 \; pmi \; D^2 \, C \; n \; Nc \; \frac{e}{t}$$

$$Pi = pmi \; l{,}74 \; D^2 \; C \; n \; Nc \quad \text{(Per motori a 2 tempi).}$$

$$Pi = pmi \; 0{,}87 \; D^2 \; C \; n \; Nc \quad \text{(Per motori a 4 tempi).}$$

$$Pi = pmi \; 3{,}49 \; D^2 \; C \; n \; Nc \quad \text{(Per motori a doppio effetto).}$$

Trattandosi di uno stesso motore del quale: corsa, alesaggio, e numero dei cilindri non variano, possiamo del detto motore calcolare una costante che indicheremo con la lettera K. Infatti per motori a 4 tempi:

$$K = 0{,}87 \; D^2 \; C \; Nc$$

Per motori a 2 tempi:

$$K = l{,}74 \; D^2 \; C \; Nc$$

Quindi come formula finale posiamo scrivere:

$$Pi = K \; pmi \; n.$$

Ricavata la potenza indicata e conoscendo il rendimento meccanico od organico del motore, possiamo calcolare la potenza effettiva.

$$Pi = Pi \; Ro$$

$$Ro = \frac{Pe}{Pi}$$

§ 9 - Combustibili e loro caratteristiche

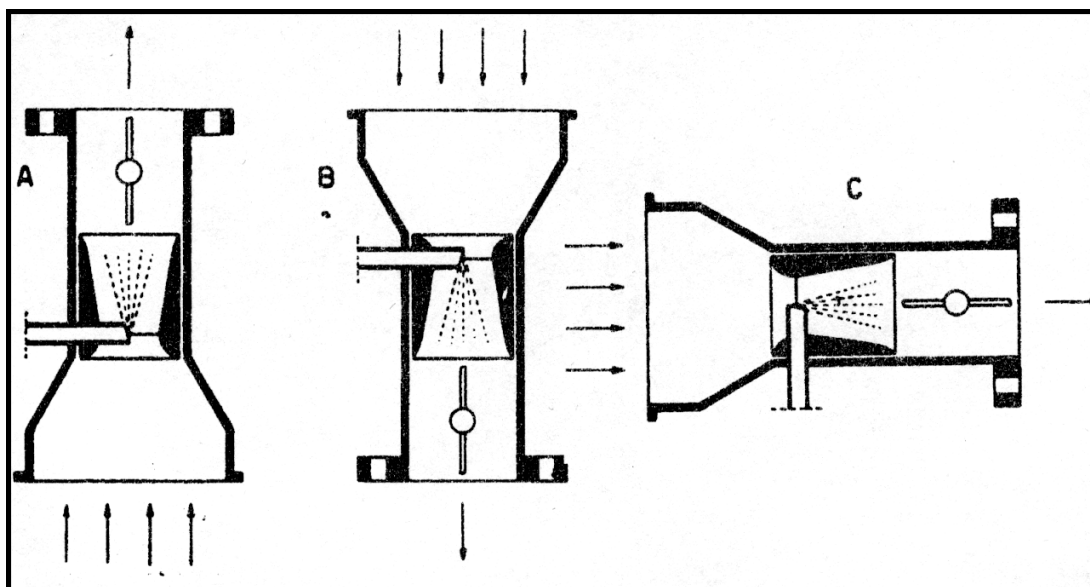
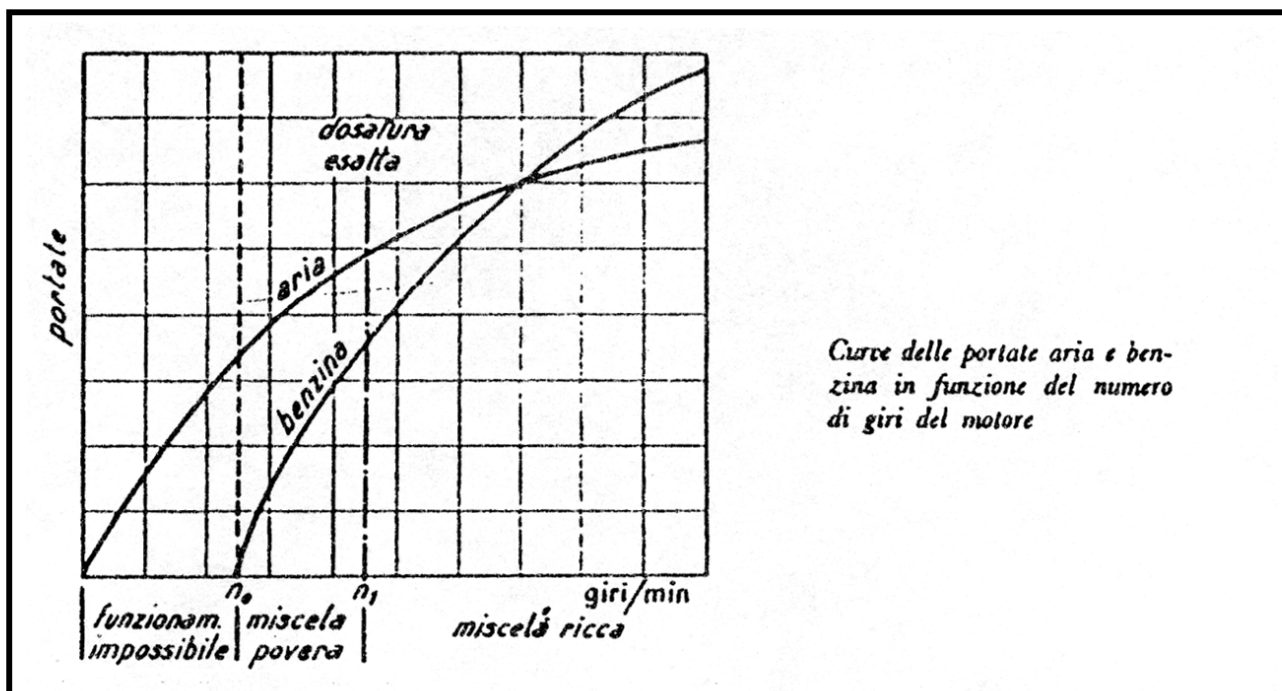
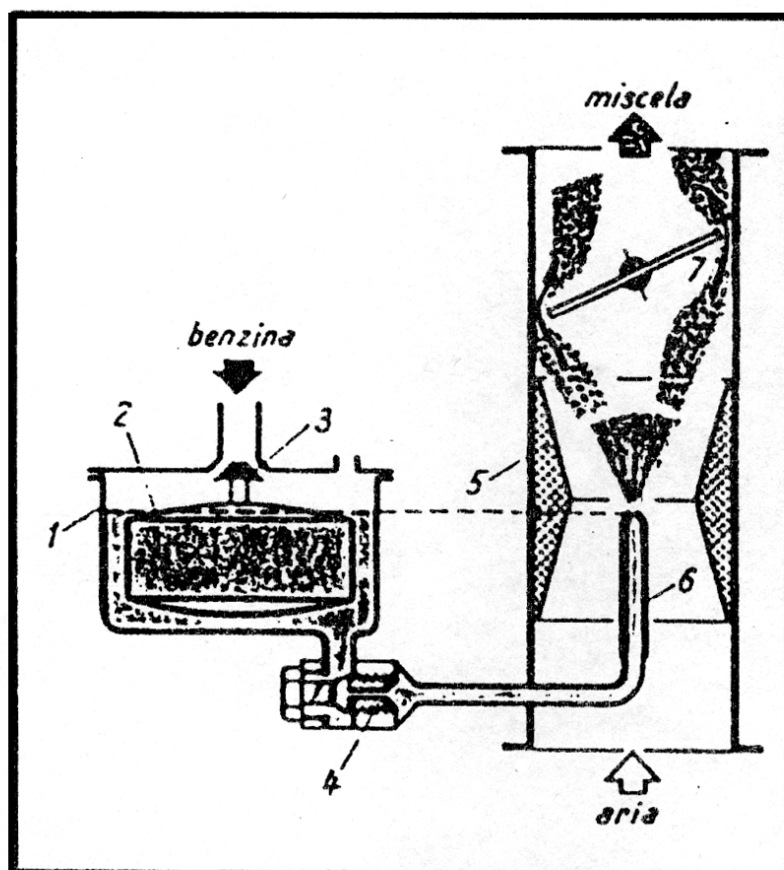
I combustibili usati per l'alimentazione dei motori a combustione interna (M.C.I.) possono essere raggruppati in due categorie. Nella prima, rientrano la **benzina, il benzolo, gli alcoli, gli eteri, ecc.** Nella seconda rientrano tutti gli **oli medi e pesanti** denominati comunemente **gasoli e nafte pesanti.**
I principali requisiti richiesti ad un combustibile sono: la **volatilità** e la **resistenza alla detonazione**. La volatilità di un carburante è importante in quanto consente allo stesso di evaporare facilmente, di diffondersi nell'aria e formare così una miscela abbastanza omogenea. La resistenza alla detonazione di un carburante è la capacità dello stesso di resistere a compressioni elevate senza incendiarsi; il parametro con il quale si esprime tale fenomeno è il cosiddetto **Numero di Ottano**.
Le caratteristiche di un combustibile vengono definite da 3 parametri:
potere calorifero (Hi) ovvero la quantità di calore prodotto dalla combustione completa di un Kg di tale materia.

Combustibili	**KJ/Kg**
carbone	**29.400**
benzina	**42.000**
nafta	**42.000**
benzolo	**40.320**
propano	**46.200**
acetilene	**48.720**

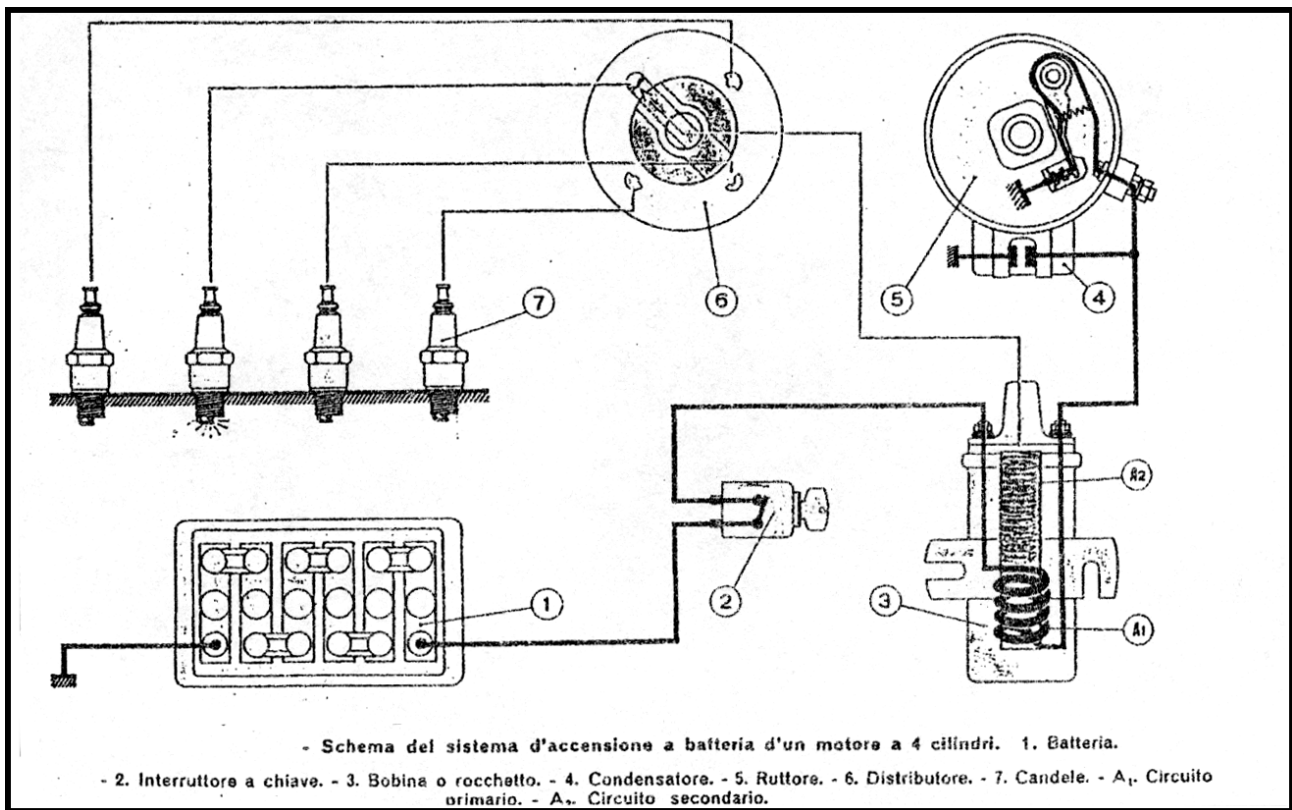
Punto d'infiammabilità, è quella temperatura alla quale occorre portare il combustibile liquido affinchè emani vapori che messi a contatto con la fiamma si accendano senza, però, determinare la combustione della massa liquida.
Punto di accensione, è quella temperatura a cui si deve portare il liquido affinchè esso si accenda. Per ottenere una combustione sono necessari: **1) il combustibile 2) l'ossigeno 3) una data temperatura di accensione.** Come abbiamo visto, i combustibili per MCI sono composti di carbonio, idrogeno e benzina; pertanto affinchè si verifichi una buona combustione è necessario che il combustibile si trovi nel giusto rapporto con l'aria **(a=Kg aria/kg comb = 13-17),** abbia una buona atomizzazione e sia ben miscelato con essa.

§ 10 - Carburatori

Per l'immissione del combustibile nei motori a carburazione si fa uso di un organo detto appunto **car-**

Curve delle portate aria e benzina in funzione del numero di giri del motore

buratore. Ha il compito preciso di **dosare la miscela** nelle giuste proporzioni a tutti i regimi del motore e di **variare l'alimentazione**, ovvero la quantità di miscela immessa nel cilindro motore (in vista di modificare il valore della potenza erogata).
I carburatori maggiormente diffusi, sono a **spruzzatore**. Questi possono essere di vari tipi: **diritto** la corrente fluida è verticale, dal basso verso l'alto; rovescio la corrente è sempre verticale ma dall'alto verso il basso; orizzontale la corrente fluida è orizzontale. Un carburatore, quando è a punto, deve fornire una miscela con il giusto titolo a tutti i regimi del motore,. Ciò non si verifica sempre. L'esperienza ha infatti dimostrato che agli alti regimi del motore la quantità di benzina aspirata è superiore a

quella dovuta **(miscele ricche)**. Questo perchè aumenta la depressione. Ai bassi regimi l'aria risulta in eccesso rispetto alla benzina **(miscele povere)**. Questi aspetti sono resi evidenti dall'**andamento delle curve aria-benzina in funzione del numero di giri del motore**.
Come si vede, la miscela è perfettamente dosata in corrispondenza della velocità n°1; al di sopra di questa abbiamo miscele ricche, al di sotto miscele povere. Gli incovenienti principali di questo tipo di carburatore sono dunque i seguenti**: a) titolo della miscela variabile a seconda del numero di giri del motore; b) è difficile l'avviamento e la marcia al minimo; c) non è possibile una pronta ed energica ripresa.**
Un carburatore elementare è costituito dalle seguenti parti:

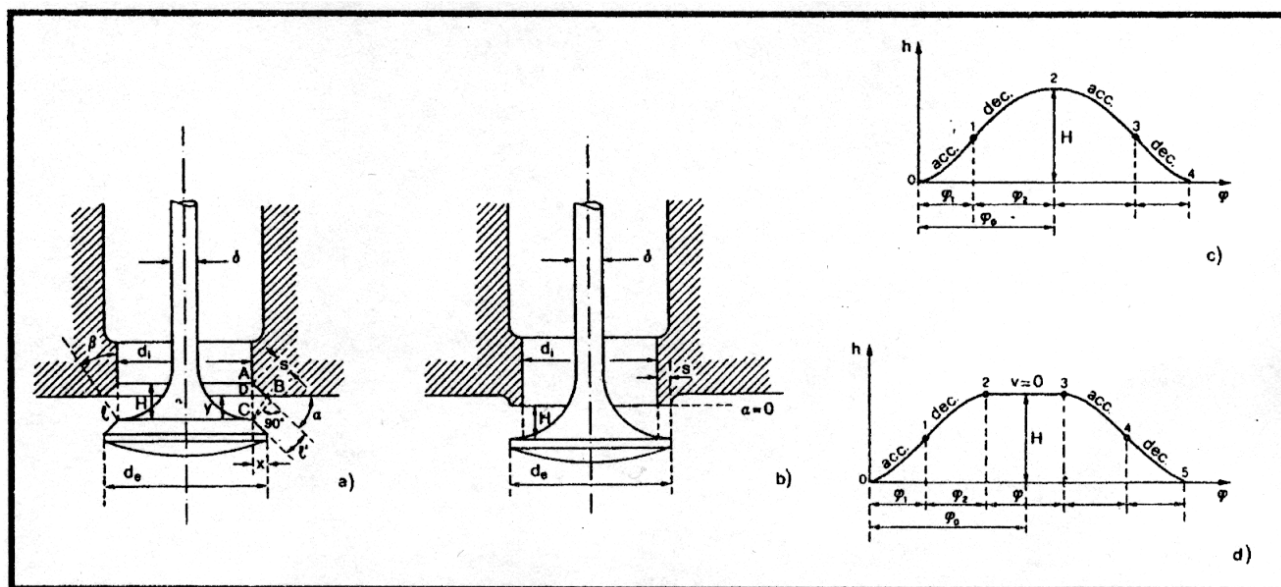
1) vaschetta a livello costante, 2) galleggiante, 3) spina di chiusura, 4) getto della benzina, 5) diffusore a tubo di venturi, 6) spruzzatore, 7) valvola a farfalla. Agli inconvenienti di cui sopra si rimedia con adeguati accorgi-menti e in particolare per il problema dell'avviamento c'è un sistema, messo a punto dalla SOLEX, che consente un'appro-priata dosatura della miscela.

- Schema del sistema d'accensione a batteria d'un motore a 4 cilindri. 1. Batteria. - 2. Interruttore a chiave. - 3. Bobina o rocchetto. - 4. Condensatore. - 5. Ruttore. - 6. Distributore. - 7. Candele. - A_1. Circuito primario. - A_2. Circuito secondario.

§ 11 - Accensione

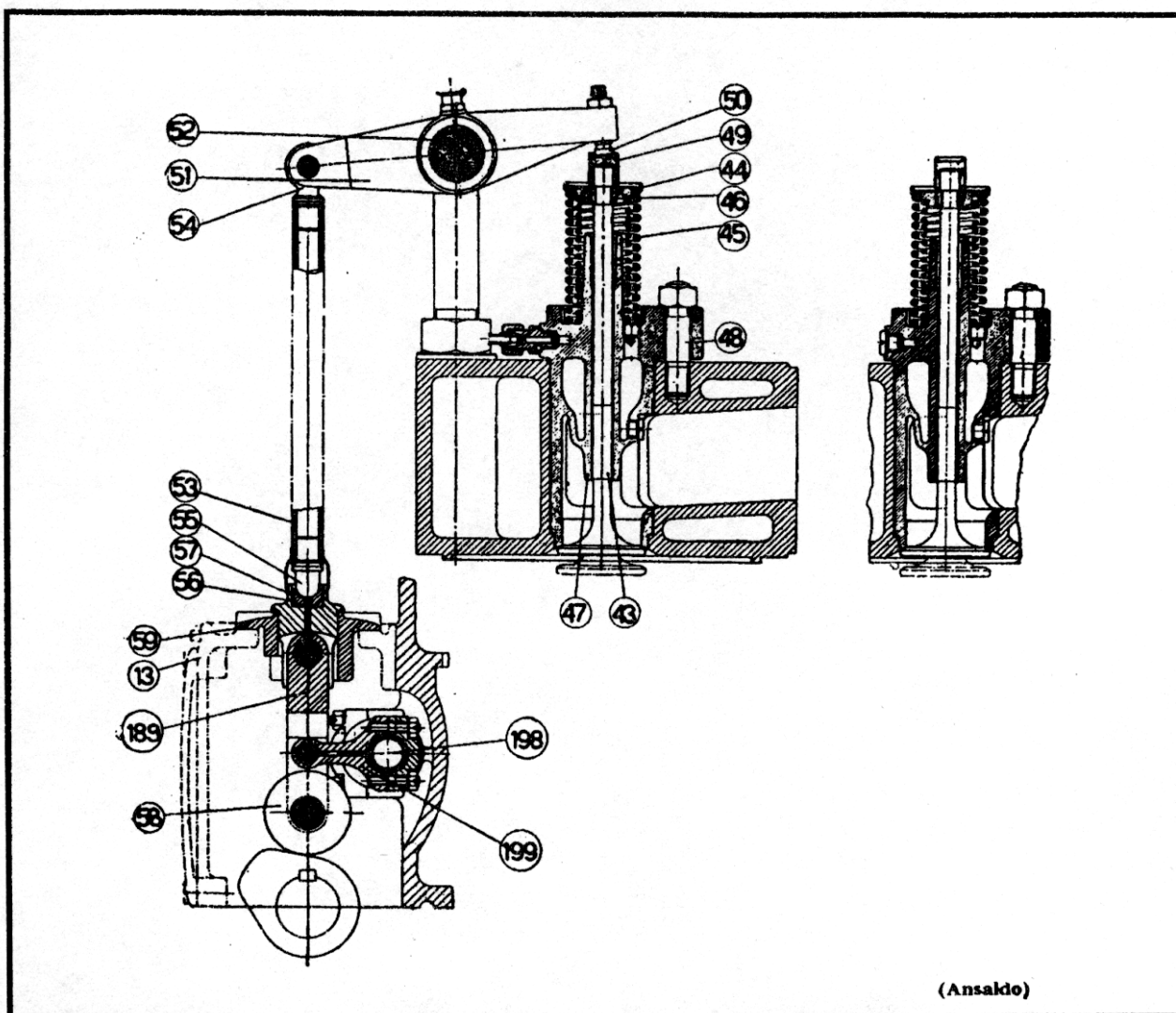
Un impianto di accensione per motori a benzina comprende: un**a bobina di accensione, distributo-re con il ruttore, i cavi di bassa ed alta tensione, candele, sorgente di energia costituita dall'in-sieme dinamo-batteria.**
La bassa tensione fornita dalla batteria dà luogo ad un passaggio di corrente che al momento opportu-no viene interrotto dal ruttore, sistemato all'interno del distributore; la corrente interrotta viene a scari-carsi sul condensatore inserito in parallelo ai contatti del ruttore. Questo rapido annullamento della corrente dà luogo ad una rapida diminuzione dell'intensità del campo magnetico, che induce nell'avvolgimento secondario una elevata forza elettromotrice; questa viene portata alle candele (nell'ordine prestabilito) mediante la spazzola rotante del distributore. Qui, l'alta tensione (10.000-20.000 Volt) dà luogo ad un arco elettrico tra i poli della candela.

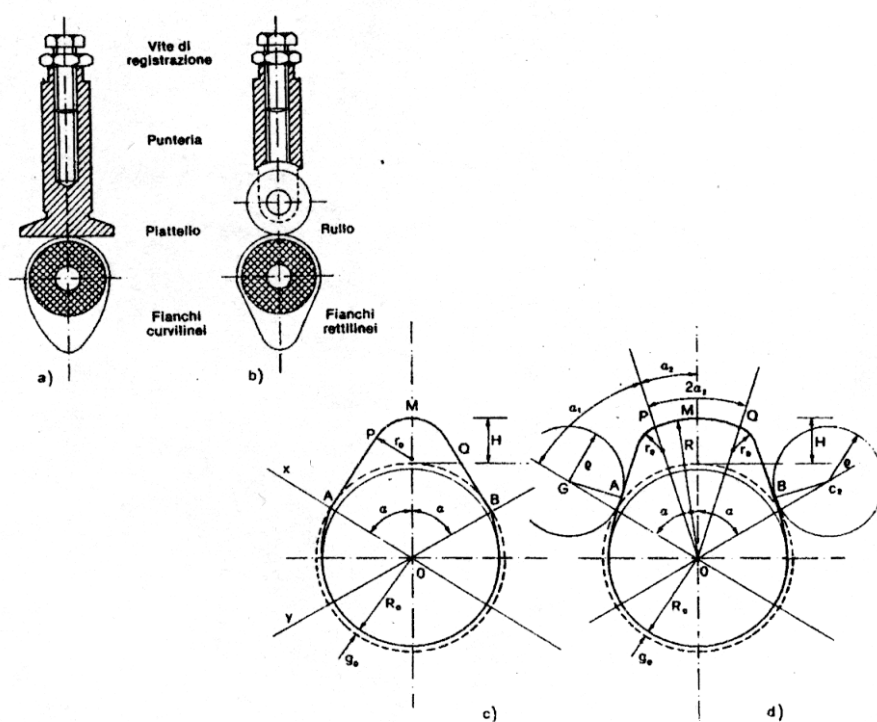
§ 12 - Distribuzione nei motori a combustione interna

Per distribuzione si intende l'insieme di tutti gli organi e i cinematismi, nonchè i sistemi pneumatici ed oleodinamici atti ad assicurare il regolare svolgimento delle fasi indispensabili per il funzionamento del motore (introduzione della miscela aria-combustibile in tempi diversi, dispositivi per l'accensione, scarico e rinnovamento del ciclo motore).
Tutte le fasi si devono svolgere con inizio e fine in tempi ben definiti, secondo il ciclo di lavoro; in perfetto sincronismo con la rotazione dell'albero motore.
Gli organi principali della distribuzione sono le **valvole**, sistemate sulla testa dei cilindri (o in altre po-

sizioni) e le **luci o feritoi**e praticate nelle camicie dei cilindri, nel caso dei motori a due tempi.
Nella testa dei cilindri nei motori a quattro tempi sono sistemat**e: le valvole di aspirazione (ammissione) e di scarico, gli iniettori, le valvole di sicurezza e i rubinetti di sfogo.**
Le valvole di aspirazione e scarico sono di tipo analogo, con la differenza che per queste ultime è prevista una circolazione di raffreddamento, in quanto esse sono lambite da gas di scarico ad alta temperatura.
Le valvole generalmente sono di tipo a fungo con gambo e testa a sede conica, a perfetta tenuta. Esse sono soggette ad azioni meccaniche e termiche nonchè a fenomeni di erosione e corrosione. Si comprende pertanto che l'insieme delle valvole costituisce una delle parti più delicate del motore e che bisognerà impiegare i materiali più adatti (acciai speciali, leghe con cromo-nichel, stellite), oltrechè diminuire la velocità dei gas e impiegare valvole relativamente piccole e leggere.
La superficie di contatto della sede è di solito conica con angoli di inclinatura di 45° o 30° rispetto all'orizzontale.
Il diametro delle valvole viene stabilito in funzione di una velocità media (40./.60m./s per area, 50./.70 m. al secondo per i gas).
La sezione di passaggio offerta al fluido è variabile a causa della graduale apertura della valvola, e raggiungerà un massimo per la **massima alzata (H)**; spostamento, questo, che si ha nella stessa direzione dell'asse della valvola che potrà essere di sollevamento, come nei vecchi motori a valvole laterali oppure di abbassamento, come avviene nei moderni propulsori. Per ciò che concerne i calcoli di progetto, si fa riferimento ad una velocità media del fluido.

In base a risultati ormai consolidati, nella pratica il rapporto **H/**d viene prestabilito secondo il tipo di motore, in base a considerazioni di silenziosità e di ηv; quindi si passa da un rapporto pari ad 1/4 per valvole piccole, leggere ad 1/5 a quelle di grandi dimensioni. Si scende fino ad 1/10 in alcuni tipi di motore veloce.
Il movimento assiale della valvola deve essere sincronizzato con il moto di rotazione della manovella. A ciò provvede un dispositivo meccanico chiamato **eccentrico o camma.**

Nel comando delle valvole è necessario adeguare la forma dell'eccentrico secondo una legge per l'apertura e la chiusura, con uno studio che tenga conto di: spostamenti, velocità ed accelerazione, in funzione dei tempi od angoli di rotazione. La **camma** è un **organomeccanico** con una base circolare inattiva ed una parte eccentrica attiva, con il suo profilo. **Essa determina ad ogni giro l'apertura della valvola e ne regola la chiusura,** mentre il fungo ritorna sul proprio seggio per azione della mol-

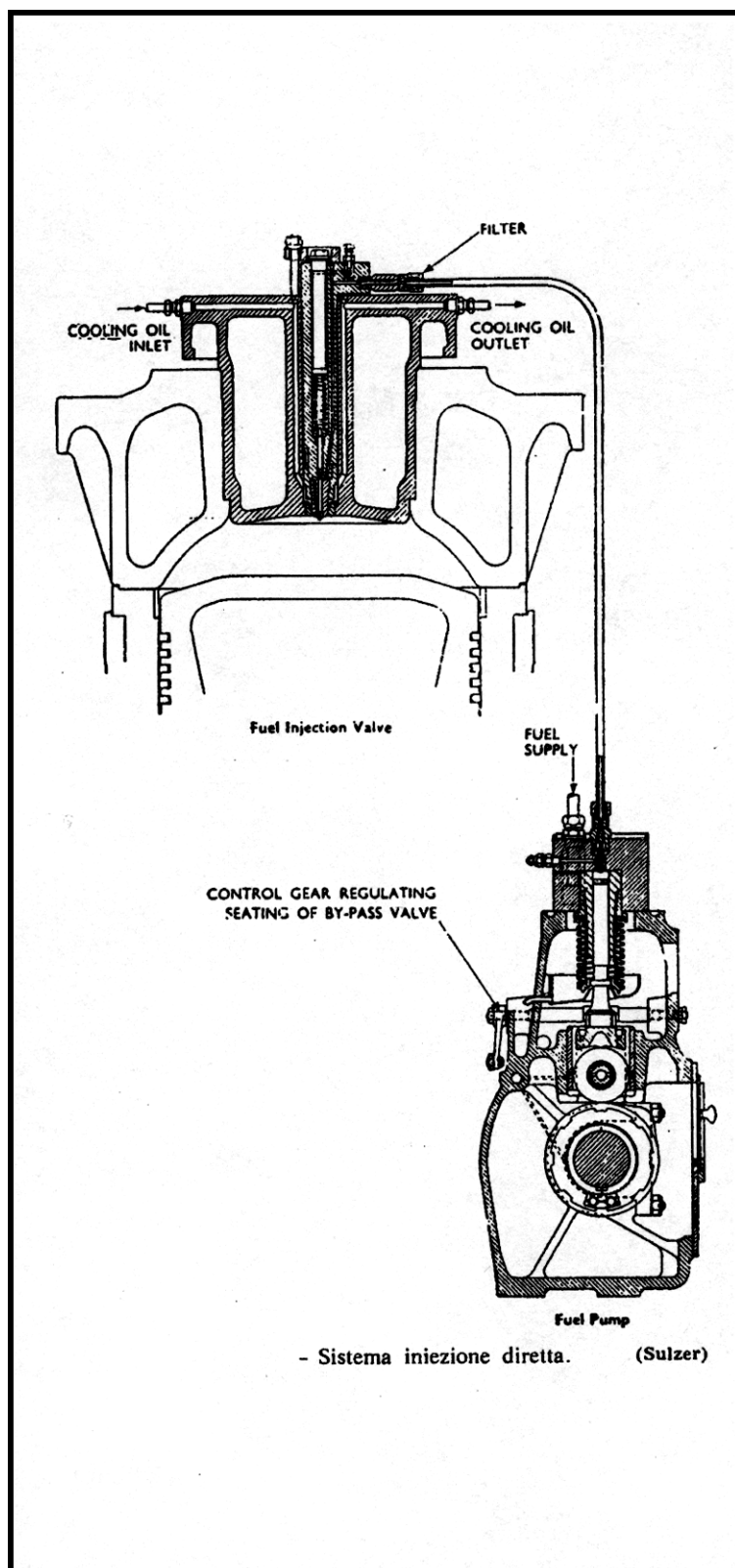
(Ansaldo)

la di richiamo. La trasmissione del moto può avvenire attraverso una punteria, oppure sono impiegati bilancieri che possono oscillare intorno al loro fulcro intermedio o di estremità.

Le **punterie** possono essere di due tipi a **piattello o a rullo** (in entrambi i casi, si hanno viti per la regolazione del gioco necessario, considerata la dilatazione termica dei materiali). I profili dei fianchi sono simmetrici e stu-

Schemi punterie e profili camme.

diati con archi a dolce raccordo, tale da assicurare il funzionamento regolare senza eccessivi urti e vibrazioni. Dovendo ogni valvola aprirsi e chiudersi una volta sola durante il ciclo motore (sia nel motore a 2 tempi, come in quello a 4 tempi), l'albero della distribuzione -o asse delle camme- dovrà compiere un giro per ogni ciclo. Quindi, il rapporto di trasmissione tra albero a camme ed albero a manovelle sarà 1/1 nel 2 tempi ed 1/2 nel 4 tempi.
I giochi di cui si parla sono nell'ordine dei pochi decimi di millimetro. Agendo sulla vite di registrazione si fa in modo che chiusura ed appertura avvengano nel momento previsto.
Il **comando delle valvole di aspirazione e scarico**, come pure delle pompe di iniezione, è ottenuto mediante l**'albero a camme, rulli, punterie e bilancieri.**
Tale albero è formato da tanti tronchetti, quanti sono i cilindri ed ogni tronchetto reca le camme di aspirazione, scarico ed iniezione.
Le camme possono essere a fianchi rettilinei, con cerchio di testa concentrico per le valvole di aspirazione e scarico ed eccentrico per la pompa di iniezione. E' ovvio che nei motori con disposizione dei cilindri a V si hanno 2 alberi a camme uguali.
La distribuzione nei motori a 2 tempi riguarda le fasi di ammissione, scarico, iniezione del combustibile ed avviamento.
Nei **motori a lavaggio trasversale e a cappio** sulle testate dei cilindri si avranno soltanto i polverizzatori e le valvole di avviamento. Sarà sufficiente un albero per la distribuzione delle sole pompe combustibile. Si provvederà all'avviamento con l'apertura automatica delle valvole, mediante un apposito asse a camme. Le fasi di lavaggio (carico e scarico dell'aria fresca) vengono realizzate tramite apposite feritoie nei cilindri. Agisce da valvola lo stesso stantuffo motore. Nei motori a 2 tempi, a lavaggio assiale, il sistema diviene più complessoper la presenza delle valvole di scarico, che richiedono un dipositivo per il comando di apertura e chiusura.
L'albero delle camme è sistemato in prossimità delle testate, parallelo a quello motore, da cui riceve il moto, attraverso ruotismi o catena. Si realizza, così, il rapporto di trasmissione 1/1.
Nei motori più recenti, il comando d'apertura delle valvole di scarico è ottenuto idraulicamente: un attivatore idraulico (con stantuffo) viene mosso dall'albero a camme con punterie di guida a rullo. La pressione dell'olio a circa 200bar viene trasmessa attraverso un tubo ad un cilindro di lavoro, sistemato sulla testa della cassa della valvola. Si genera così una forza assiale diretta che provoca l'apertura della valvola senza spinte laterali, vincendo la tensione di una serie di molle di richiamo della valvola, che -dopo il punto di massima alzata- provvedono al ritorno della valvola sul proprio seggio.

§ 13 - Apparati di iniezione nei Diesel

Le esigenze di questa fase sono principalmente:
a) tempo, introduzione graduale e secondo una determinata legge ed al momento giusto in modo da avvicinarsi al ciclo ideale desiderato;
b) quantità, cioe introduzione in ogni cilindro e per ogni ciclo di una quantità di nafta sufficiente affinchè il motore sviluppi la potenza richiesta;
c) modo, polverizzazione, tempestiva **penetrazione** ed elevata **diffusione**, in modo da avere una miscela aria-combustibile quanto più omogenea possibile.
Questi compiti vengono variamente ripartiti tra l'iniettore e la pompa; mentre un contributo inportante può essere dato dalla camera di combustione. L'iniezione un tempo era affidata ad un getto di aria compressa, oggi si fa avvenire per mezzo di una pompa. L'iniezione può avvenire direttamente nel cilindro oppure in una camera spostata (indiretta). **Nell'iniezione pneumatica** la nafta è mandata da una pompa -nella quantità necessaria ad un ciclo- nel polverizzatore, il quale si trova in collegamento con una bombola di aria compressa rifornita da un compressore di cui è dotato il motore. All'istante voluto, l'ago otturatore viene alzato con il meccanismo camma-bilanciere. Allora, la nafta è trascinata nel cilindro, con l'aria compressa.
L'iniezione termina quando si è esaurita la nafta che era stata mandata dalla pompa. Cessata l'iniezio-

- Sistema iniezione diretta. (Sulzer)

ne della nafta, continua ancora per un poco l’afflusso di aria compressa. Secondo questo sistema, dunque, alla fase provvede l’ago dell’iniettore; alla quantità, la pompa; alla polverizzazione, l’aria compressa (60-70 bar).

Al piccolo vantaggio di questo tipo di iniezione consistente in un breve ritardo della stessa, col beneficio di una combustione esente da bruschi sbalzi di pressione -quindi funzionamento piu dolce e minor travaglio meccanico- fa riscontro l’assorbimento di potenza (>10%), sviluppata dal motore da parte del compressore. Inoltre, esso è un organo molto delicato.

Necessita di polverizzatori comandati: pertanto, complica i comandi del motore.

Nell’iniezione meccanica semplice la nafta è mandata dalla pompa in quantità e alla fase voluta nel cilindro, attraverso l’iniettore il cui otturatore viene sollevato dalla pressione della nafta stessa vincendo la reazione di una molla antagonista opportunamente tarata che lo teneva chiuso.

Secondo questo sistema, la pompa provvede alla fase; alla quantità e anche alla polverizzazione. Essa dà la pressione necessaria (200-1000 bar) per creare la dovuta velocità di afflusso.

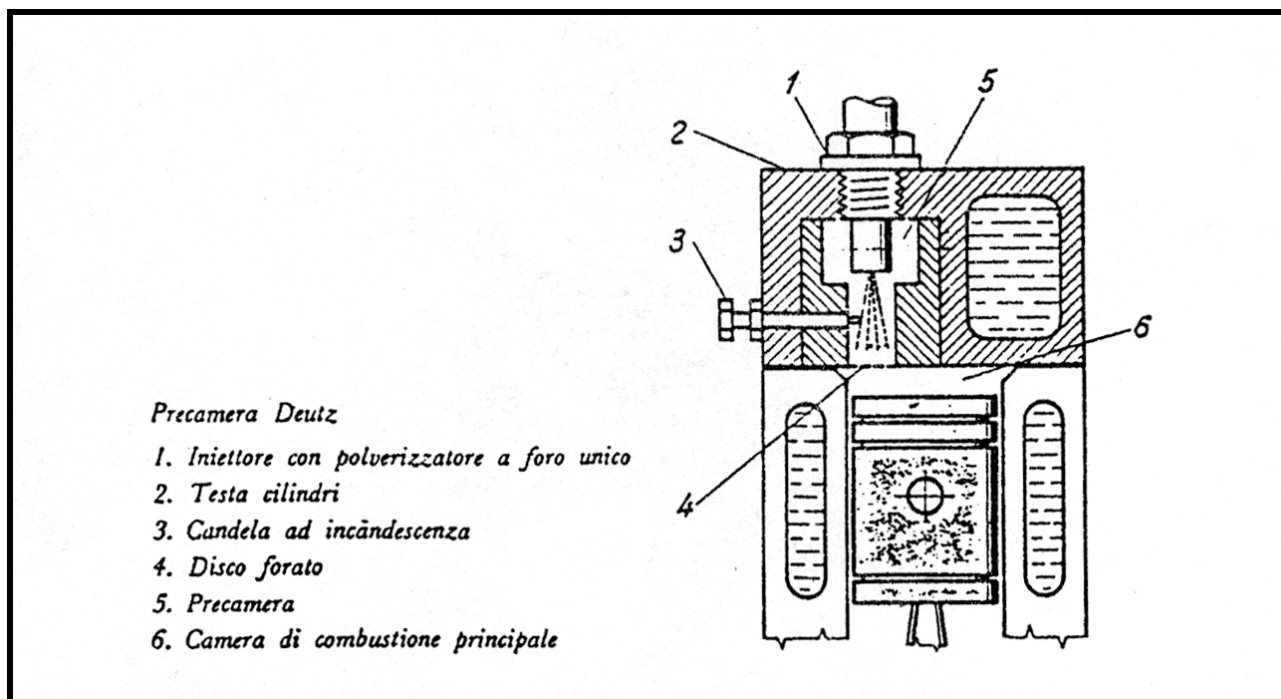
Questo tipo di iniezione presenta varie difficoltà:

a) problema di ottenere buone regolazioni, nonche buone tenute;

b) i fori degli iniettori devono essere piccolissimi per polverizzare bene il combustibile;

c) le pressioni in gioco richiedono pompe con difficoltà tecnologiche non indifferenti.

In seguito a queste difficoltà, si è cercato di ottenere gli stessi risultati della iniezione diretta con metodi più semplici: l’iniezione in precamera o indiretta. Un sistema di questo tipo prevede sopra il cielo del cilindro -in posizione generalmente asimmetrica- una piccola camera di volume pari a 1/8-1/10 di quello della camera di combustione.

In tale camera (vedi figura pagina successiva) agisce l’iniettore. Esso può introdurre combustibile anche grossolanamente polverizzato (e qui sta il pregio dell’iniezione in precamera). Quindi, funziona con pressioni di mandata notevolmente minori rispetto all’altro sistema (100-150 bar) e con fori dell’iniettore più grandi e, pertanto, meno soggetti ad otturarsi. In questo modo, nella precamera -trascorso il periodo d’incubazione- solo alcune gocce di combustibile iniziano ad accendersi (poche

perchè l'ossigeno è in piccola quantità), elevando la pressione e la temperatura della precamera stessa. In seguito all'innalzamento della pressione, tutto il combustibile contenuto nella precamera viene proiettato nella camera di combustione, dopo avere subito un'ulteriore polverizzazione attraverso il passaggio che collega le due camere. **L'unico svantaggio di questo sistema è che risulta sempre difficoltoso l'avviamento, dato che a motore freddo è difficile realizzare in ogni punto la temperatura di autoaccensione.**

§ 14 - Pompe del combustibile

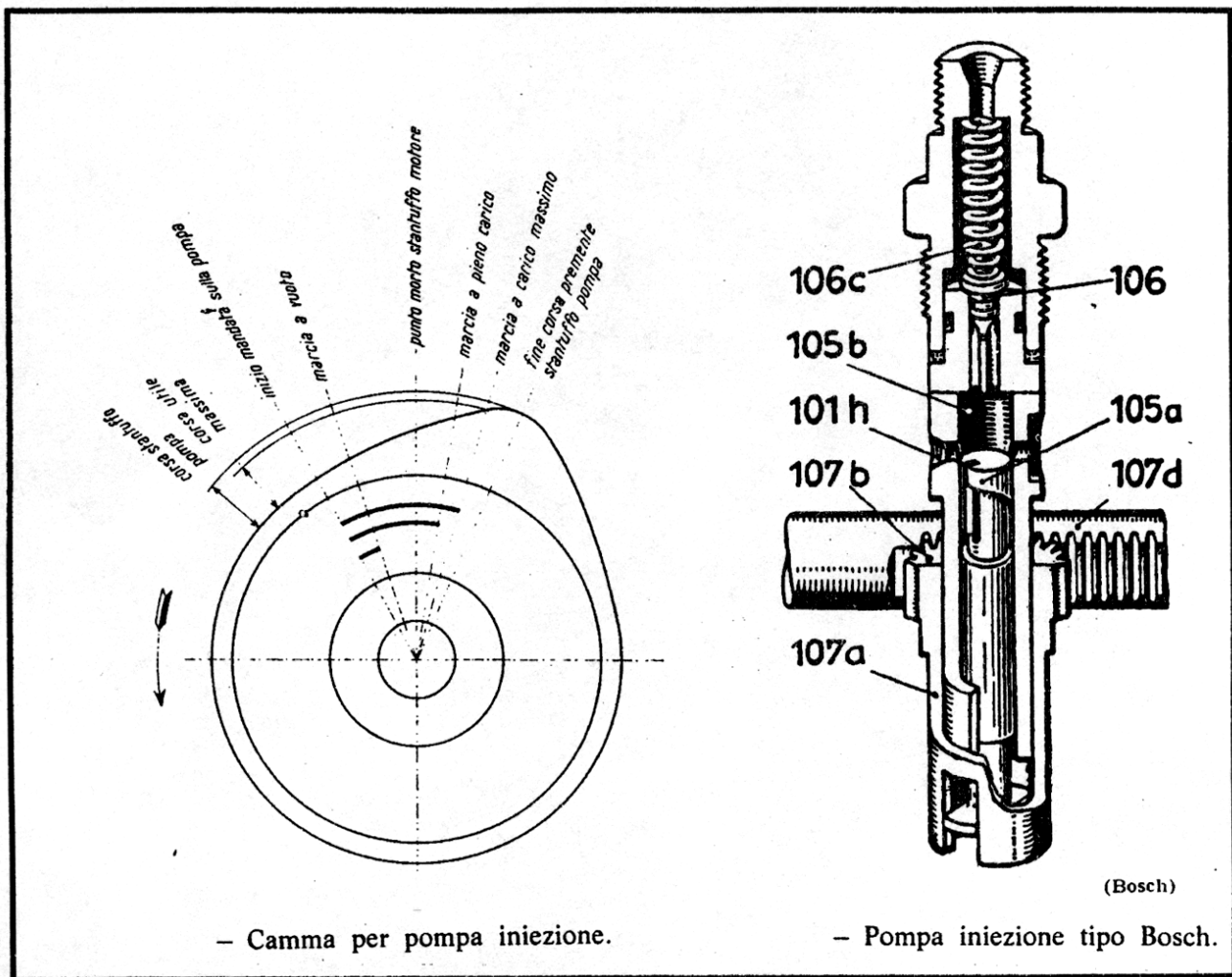
Generalmente ogni cilindro è dotato di una pompa per l'iniezione del combustibile. Le pompe possono essere distinte oppure riunite in gruppi parziali. Meglio ancora in un solo insieme. Ognuna di esse invia al momento opportuno la giusta quantità di combustibile, sotto pressione al polverizzatore, situato sulla testa del cilindro. Ovviamente, il movimento delle pompe deve essere sincronizzato con quello del motore. La soluzione costruttiva che meglio si adatta alle forti pressioni è quella a stantuffo. In essa, l'azione premente sullo stantuffo viene esercitata dall'apposita camma montata sull'albero della distribuzione, che riceve il movimento da quello motore. Le pompe devono essere in grado di dosare con esattezza quantitativi molto piccoli di combustibile.

Dovendo operare a pressioni molto elevate, assume particolare importanza il problema delle fughe; per tale motivo le pompe vengono surdimensionate (5-6 volte per piccole pompe e 2-3 volte per grandi pompe). Inoltre, è necessario che la pompa consenta una regolazione della portata in relazione alla marcia del motore. Il dimensionamento della pompa non è molto semplice: date le piccole dimensioni, tutte le parti vengono costruite impiegando acciai speciali. Per ridurre al minimo le fughe, lo stantuffo avrà una guida molto lunga nel suo cilindro (5-6 volte il suo diametro). Per variare la portata di combustibile sono impiegati diversi sistemi: **corsa variabile dello stantuffo; strozzamento all'aspirazione e riflusso nel serbatoio di alimentazione,** quest'ultimo molto usato.

§ 14.1 - Pompe di iniezione tipo Bosch

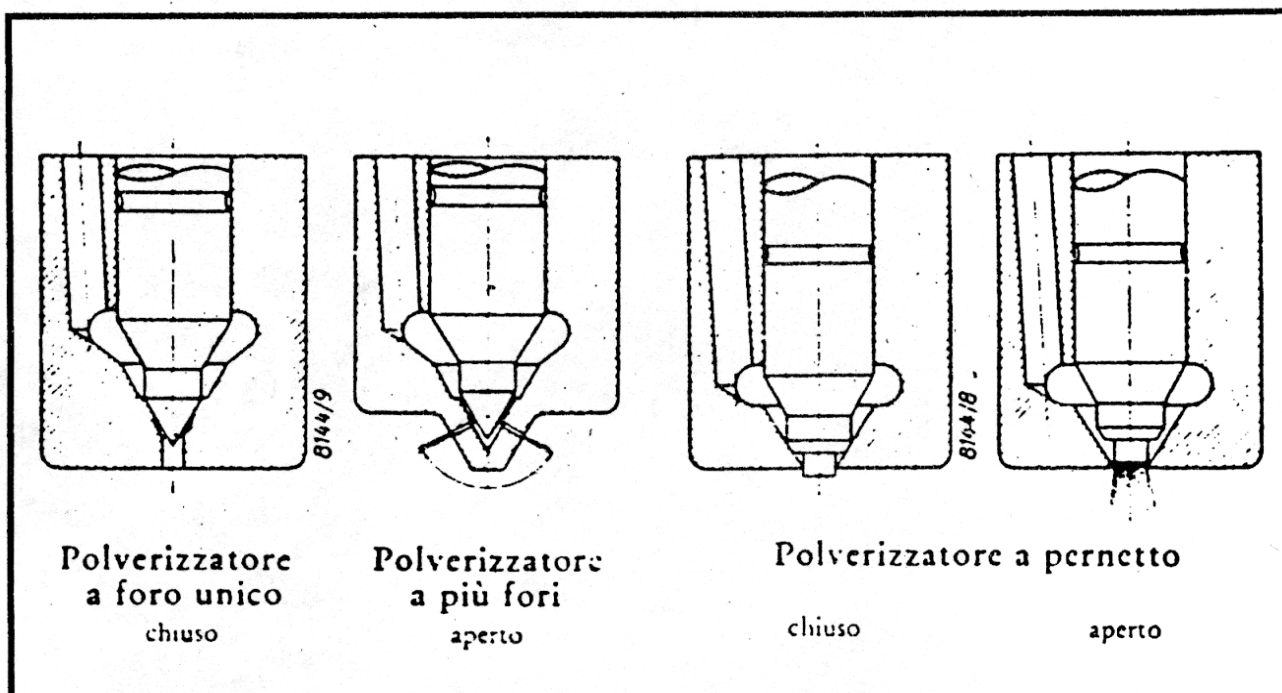
Fra i vari tipi di pompe (ricordiamo quelle FIAT, MAN). Quelle che maggiormente si sono imposte per la loro grande semplicità sono le **tipo Bosch**, di uso generale nei piccoli motori, talvolta impiegate anche in quelli di medie e grandi dimensioni dette anche a **stantuffo rotante.**

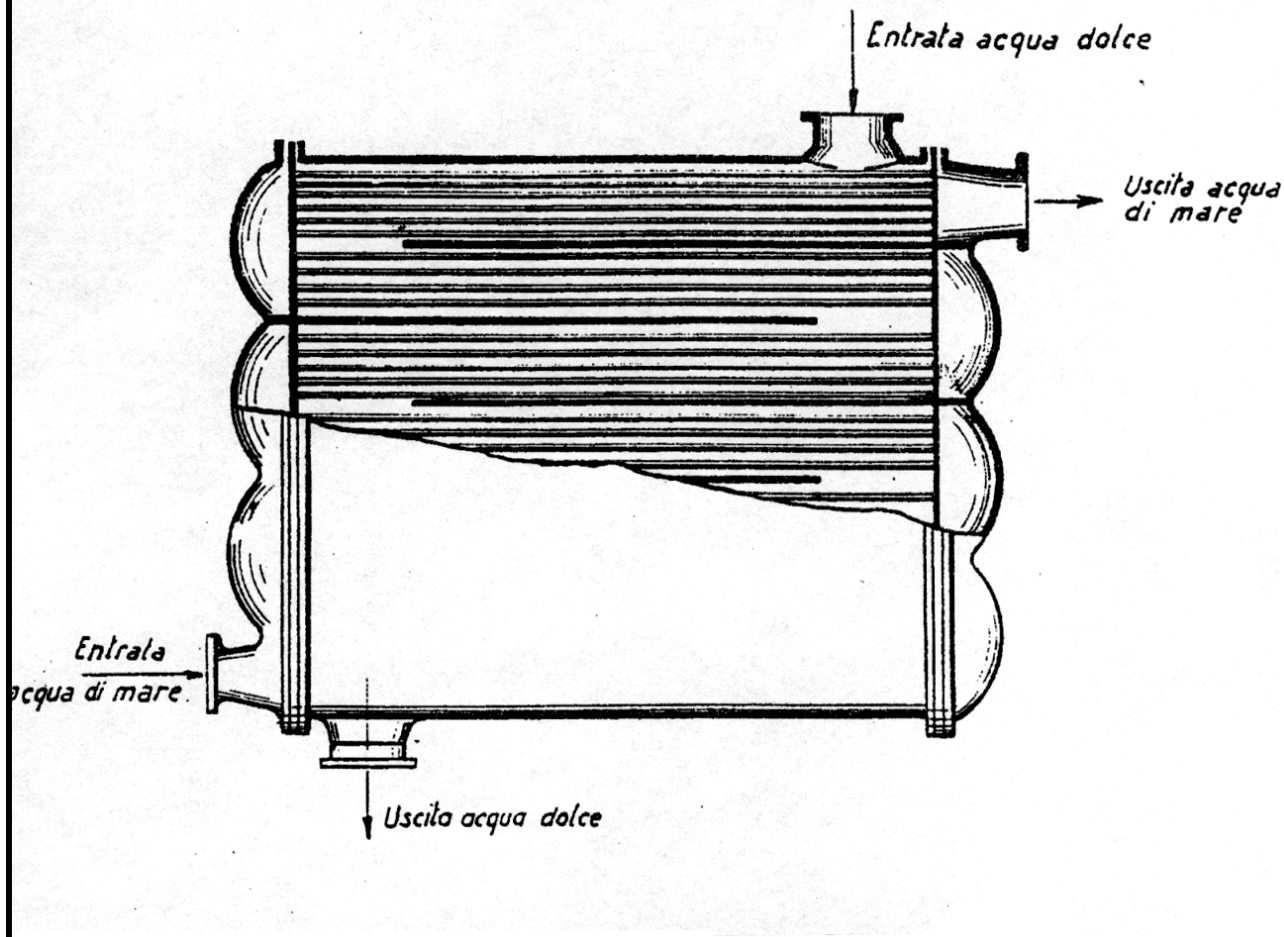
La loro regolazione si effettua facendo girare di un dato angolo lo stantuffo della pompa, intorno al

– Camma per pompa iniezione. – Pompa iniezione tipo Bosch.

proprio asse. Lo stantuffo viene azionato direttamente dal motore attraverso il sistema comune delle punterie. Quando lo stantuffo si trova nella parte più bassa, la camera superiore del cilindro si riempie di combustibile che entra dalle due aperture laterali. Lo stantuffo, salendo, chiude queste due aperture laterali e il combustibile viene iniettato nella camera di combustione del cilindro motore, passando dalla valvola di mandata. La parte superiore dello stantuffo presenta un solco elicoidale ed uno longitudinale.

Lo spigolo A stabilisce l'inizio della portata; essa finisce quando il bordo elicoidale B scopre l'apertura di ammissione di destra, mettendo in comunicazione la camera di compressione sopra lo stantuffo con quella di aspirazione, attraverso i due solchi. La portata viene marcata agendo sull'asta di regolazione. A seconda della posizione angolare, varia il tratto della corsa premente, e quindi il riflusso. La portata si annulla quando il solco verticale si porta in corrispondenza della luce.
Altra caratteristica di questa pompa è la valvola di mandata, premuta sul proprio seggio dalla molla. La valvola a sede conica presenta un'appendice con un piccolo tronco cilindrico, che chiude istantaneamente la mandata, prima che la valvola poggi sulla propria sede. Il ritorno indietro della tubazione di mandata fa variare il volume della luci di mandata; la pressione si abbassa e la chiusura del polverizzatore sarà immediata evitando gocciolamento di carburante. **L'asta di regolazione a cremagliera** agisce su tutte le pompe di un gruppo. In altri motori si ha un'asta di regolazione per ciascun cilindro.

- Iniettori
La figura a seguito mostra due tipi di polverizzatore:
- tipo Bosch, a foro unico, comandato direttamente dalla pressione di spinta del combustibile, co-

struito nei due modelli principali **a pernetto o a spillo**. Nel primo, al pernetto è congiunta una piccola superficie conica che funge da superficie di chiusura, perfettamente lavorata. Segue, verso l'alto, un tratto cilindrico unito ad altro tronco di cono, di maggiori dimensioni. Esso oppone al combustibile una sufficiente superficie di spinta: per sollevare l'ago dalla sua sede.
Il combustibile giunge intorno alla parte inferiore dello spillo attraverso i canali interni al corpo dell'ugello. Si tratta di canaletti che terminano all'altezza della superficie conica di spinta dello spillo, in una cavità anulare. L'angolo di iniezione del getto varia da 5 a 30 gradi.
Gli iniettori a spillo si distinguono per la conformazione dell'apertura d'iniezione. Vengono costruiti a foro unico ed a più fori.
I polverizzatori a pernetto hanno il vantaggio di essere autopulitori, perchè il movimento alternato del pernetto libera il forellino di polverizzazione dai residui carboniosi. Essi vengono generalmente montati sui motori ad iniezione indiretta. Quelli a fori, invece, richiedono una più frequente revisione perchè, mancando l'azione autopulitrice, sono soggetti ad otturarsi.

§ 15 - Raffreddamento nei diesel

Tutti gli organi di un motore a scoppio sono più o meno soggetti all'azione termica dei gas caldi. Sono particolarmente interessati a tale fenomeno le canne dei cilindri, le testate, le valvole con relative sedi e lanterne, i polverizzatori, gli stantuffi e le turbine. Se non si provvede ad un efficace raffreddamento di tali parti, in breve tempo le eccessive sollecitazioni finirebbero per distruggere rapidamente il motore. **L'azione termica dipende da numerosi fattori: ciclo termodinamico, eccesso di aria, potenza per litro di cilindrata, velocità di rotazione, numero dei tempi.**
Nella costruzione dei motori bisogna usare i materiali più idonei sebbene costosi, a garanzia contro l'usura e le avarie. Questo, anche in cosiderazione delle masse in movimento e dei relativi momenti d'inerzia.
La sottrazione del calore è ottenuta con fluidi refrigeranti di natura diversa, in circuito chiuso oppure aperto. Per macchine marine, di norma, è impiegata l'acqua dolce in circuito chiuso e quella di mare in circuito aperto. Quest'ultima raffredda l'acqua dolce od il fluido del circuito chiuso attraverso un dispositivo scambiatore.
Per il raffreddamento degli stantuffi (vedi figura seguente), quando è previsto, è impiegata acqua dolce con circuito chiuso indipendente, oppure -particolarmente nei piccoli motori- con circolazione di olio. I circuiti chiusi si impiegano per ridurre i consumi di acqua dolce. Si distinguono i circuiti:
- acqua cilindri

- acqua stantuffi
- acqua per polverizzatori.

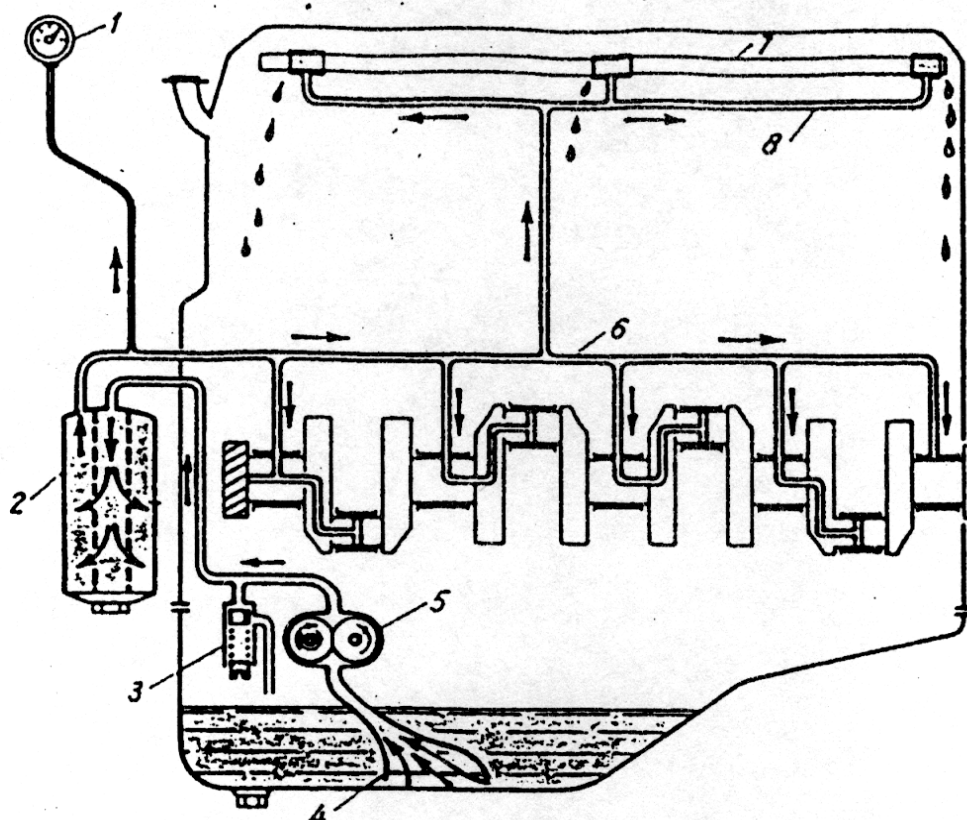
Per un quantitativo di acqua compreso tra 30, 80 Kg/Kwh. , in generale le acque di raffreddamento vengono trattate per evitare corrosioni, incrostazioni e depositi. L'acqua di raffreddamento è mantenuta in circolazione da una pompa centrifuga. Essa è direttamente comandata dal motore, oppure azionata da un motore elettrico.

- Lubrificazione nei Diesel

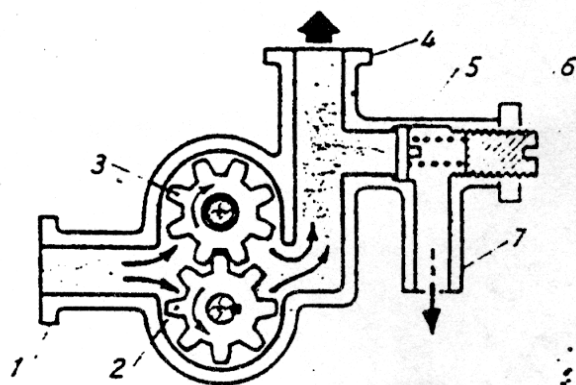
La funzione principale della lubrificazione è la riduzione massima delle resistenze d'attrito che si generano tra superfici metalliche a contatto. La lubrificazione deve essere sempre di tipo idrodinamico. Poichè la pellicola di fluido tende ad essere trascinata per aderenza dal movimento relativo, è necessario assicurare un continuo rifornimento di olio.

Parametro fondamentale della lubrificazione è la viscosità dell'olio. La lubrificazione dei manovellismi, nella maggior parte dei Diesel, è a **circolazione forzata, in circuito chiuso** con recupero dell'olio. Tutti i cuscinetti sono investiti da un flusso continuo d'olio, che assicura una lubrificazione idrodinamica e provvede al parziale raffreddamento della parte lubrificata.

La diminuzione della velocità relativa porta la lubrificazione dal regime idrodinamico a quello di lubrificazione limite, o untuosa. In questo caso, la lubrificazione è affidata all'aderenza di qualche strato molecolare di scarsa resistenza, facilmente soggetto a rottura, con possibile contatto tra i metalli,

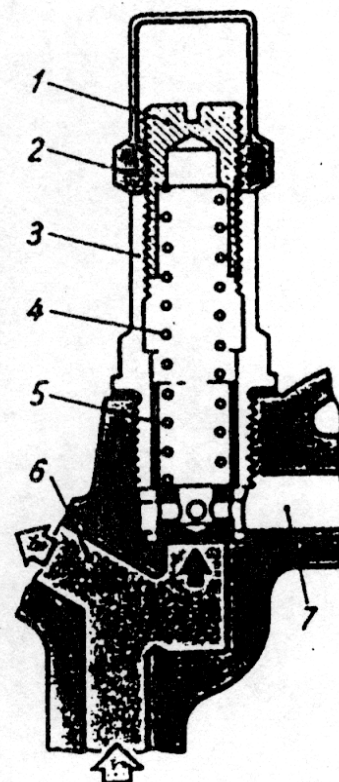
– Sistema lubrificazione motori MAN KSZ.

Schema della lubrificazione a circolazione forzata per un motore a 4 cilindri in linea

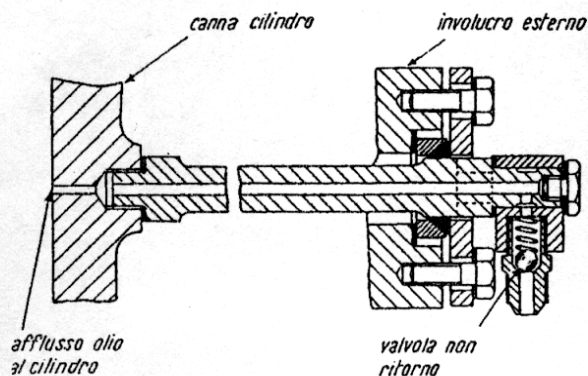
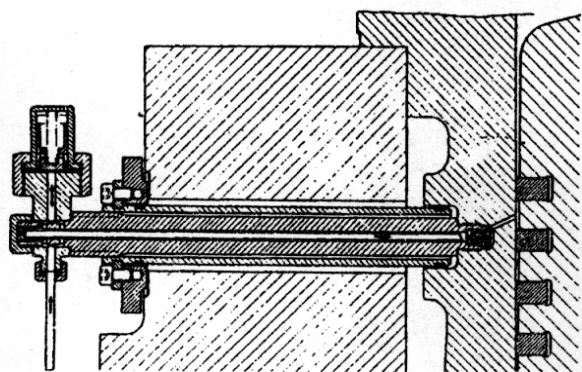
1. Manometro indicatore della pressione dell'olio. 2. Filtro principale o di mandata. 3. Valvola limitatrice della pressione. 4. Bocchetta di aspirazione munita di filtro. 5. Pompa di circolazione ad ingranaggi. 6. Condotto principale o di mandata ricavato nel basamento. 7. Albero della distribuzione. 8. Condotto per la lubrificazione dei cuscinetti dell'albero della distribuzione.

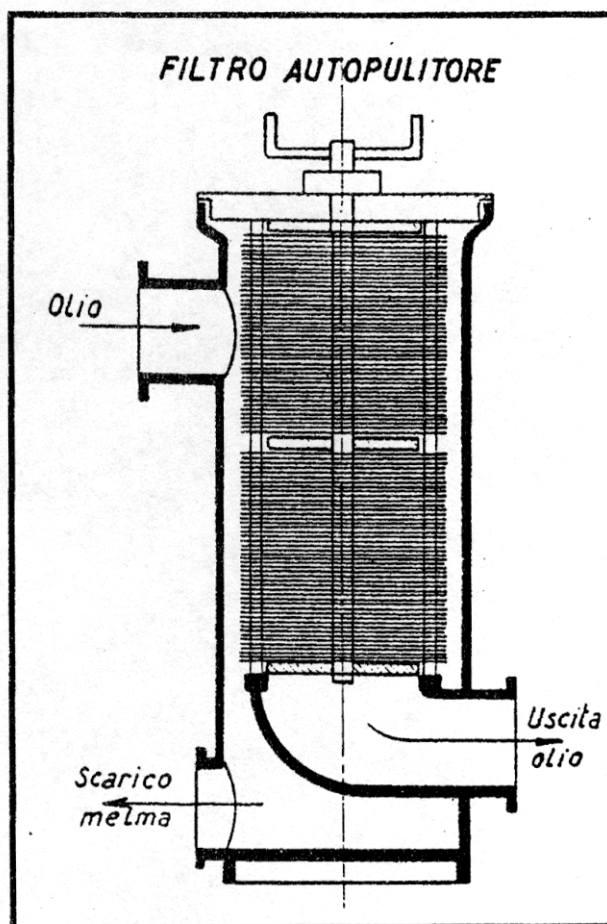
usura accentuata e surriscaldamento**. In generale, il sistema di lubrificazione si compone di una pompa che pesca l'olio dalla coppa e lo invia nel circuito** sotto pressione (da 1 a 4 bar), attraverso un filtro destinato alla rimozione delle impurità ed un refrigerante che riporta l'olio alla sua temperatura normale. **L'olio passa, poi, al collettore per essere distribuito ai cuscinetti di banco e**

Pompa a ingranaggi

1. Condotto di aspirazione
2. Ruota conduttrice
3. Ruota condotta
4. Condotto di mandata
5. Valvola limitatrice della pressione
6. Vite per la regolazione della pressione
7. Condotto di scarico pressione in eccesso

Valvola limitatrice della pressione

1. *Vite per la regolazione della pressione massima*
2. *Cappellotto di bloccaggio*
3. *Corpo della valvola*
4. *Molla di pressione*
5. *Valvola*
6. *Condotto di mandata*
7. *Condotto di scarico pressione in eccesso*

reggispinta. Da quello di banco, il lubrificante passa, attraverso un foro, nell'**albero motore, al cuscinetto di testa di biella**. Risale, quindi, attraverso la cavità della biella e lubrifica lo spinotto oppure i pattini della testa a croce.
Apposite diramazioni pompano dal collettore e portano l'olio all'albero della distribuzione ed i relativi organi di comando. L'olio ricade, quindi, per gravità nella coppa per tornare in circolo, rimesso sotto pressione dalla pompa. Le **pompe** sono del tipo ad **ingranaggi o a vite**, dotate di valvola di riduzione.
Tali dispositivi -quando la pressione di mandata supera un certo valore- mettono in comunicazione la mandata con l'aspirazione fino a che la pressione ritorna al valore normale. Il comando della pompa olio può essere derivato direttamente dall'albero motore, per mezzo di ingranaggi o mosso da un mo-

tore elettrico indipendente.

- Lubrificazione nei cilindri

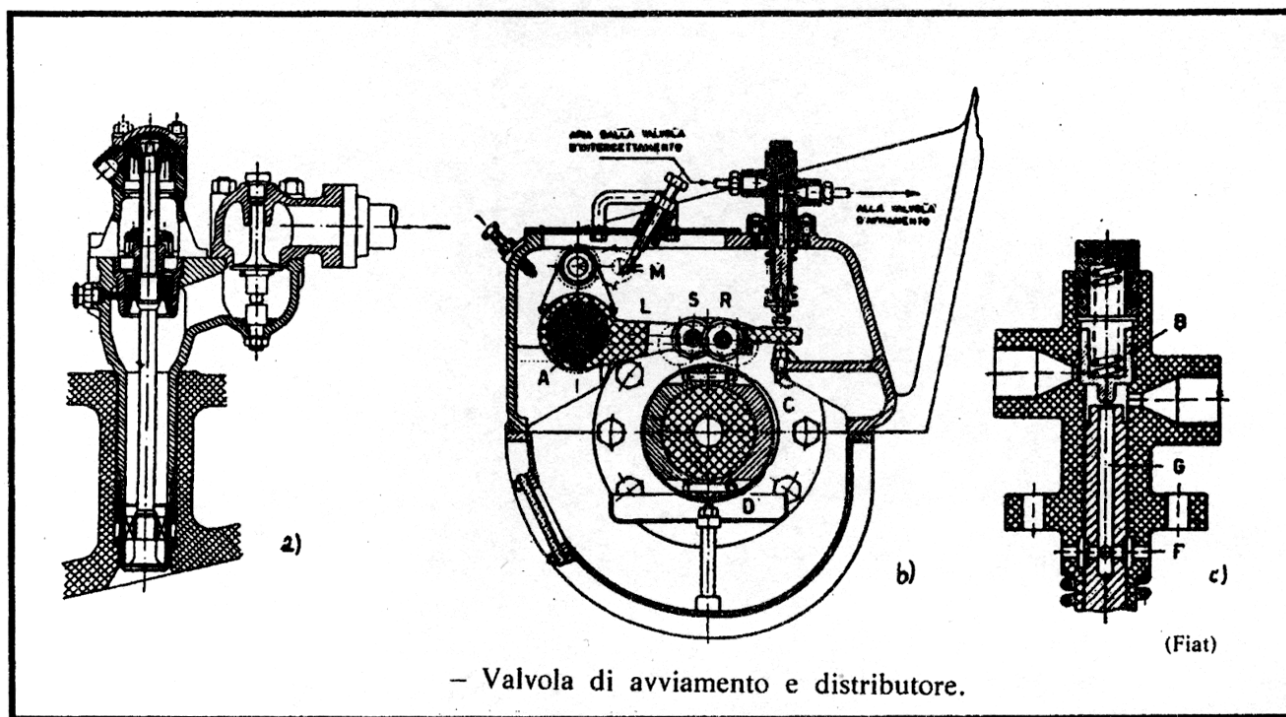
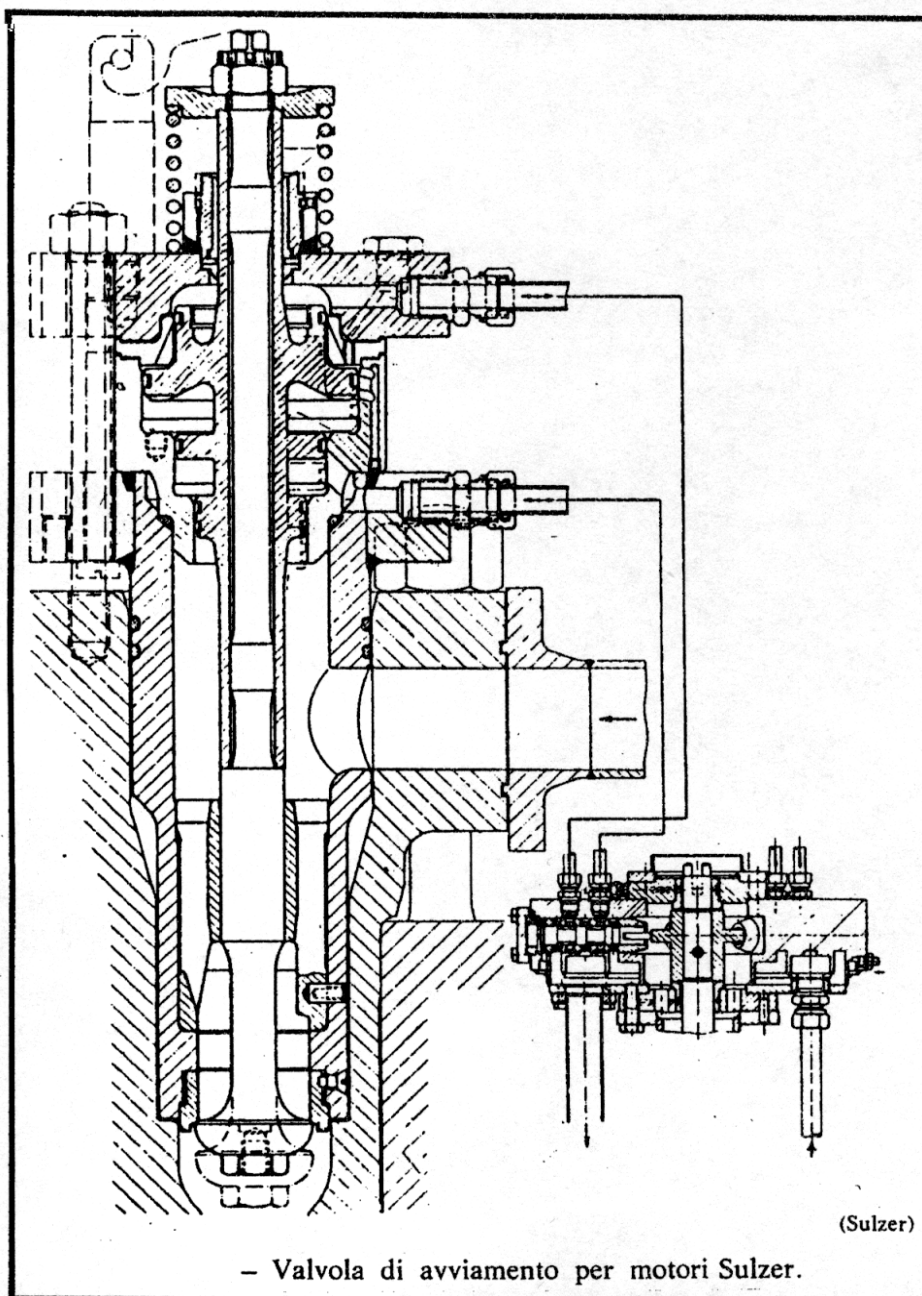
E’ una zona particolarmente soggetta all’azione di alte pressioni ed elevate temperature.Oltre ad assicurare una buona lubrificazione, contro l’usura eccessiva di camicia e delle fascie elastiche, riduce al minimo la fuga dei gas combusti. Nei piccoli motori a stantuffi tuffanti, l’olio viene lanciato a spruzzo o a sbattimento dalle manovelle, mandato nel senso, del moto contro la parte inferiore del mantello dello stantuffo. Così, si lubrificano anche le camicie dei cilindri. Per motori medio veloci, di maggior potenza, il quantitativo d’olio che raggiunge i cilindri per sbattimento sarebbe inadeguato. In questo caso la lubrificazione è completata da cannule distribuite in opportuni ponti, alimentata da lubrificatori meccanici.
Durante l’esercizio, l’olio si altera per l’effetto congiunto del calore e dei residui. Perde quindi, gradualmente, le proprietà lubrificanti. Aumenta, dunque, l’usura dei cilindri e dei cuscinetti. **L’olio deve quindi essere regolarmente e continuamente depurato.** Per rimuovere le particelle insolubili ed altre contaminazioni, sono impiegati (a parte la decantazione) due metodi principali: **centrifugazione e filtrazione.**
Nel trattamento di bordo, la centrifugazione è il sistema maggiormente impiegato. Non mancano, però, casi in cui è preferito l’utilizzo di semplici filtri, privi di parti in movimento, caratterizzati da bassi costi d’esercizio e minima manutenzione.
Tra i vari tipi di filtro, i più moderni sono autopulitori, dotati di lamelle a corona circolare sovrapposte e spazzole fisse. Queste puliscono il filtro quando azionando la maniglia si fa girare la superficie filtrante.

§ 16 - Avviamento dei motori Diesel
La successione delle fasi, com’è indicato dai diagrammi della distribuzione, presuppone il motore già in moto. Solo in tal modo, con le successive fasi attive di espansione, è possibile avere a disposizione il lavoro necessario. Non solo per lo sviluppo della potenza utile; ma anche per superare le fasi passive del ciclo.
Da quanto detto, sorge il problema dell’avviamento da fermo, utilizzando allo scopo un’energia esterna, atta a vincere tutte le resistenze che si oppongono al moto dei vari organi meccanici. A questo proposito si vede subito la convenienza (per quantè possibile) di effettuare la messa in moto disaccoppiando l’albero da altri meccanismi (es.: frizione, asse elica ecc.). Nei comuni motori, però -durante l’avviamento- l’elica è trascinata in rotazione con il proprio asse. La resistenza aumenta notevolmente al crescere della velocità di rotazione. Allora, specialmente per i motori di grande mole, è necessario disporre di una rilevante energia potenziale per generare il moto iniziale, fino alle prime accensioni.
Solo nei motori di limitata potenza si può eseguire l’avviamento a mano, oppure con motore elettrico. In quelli maggiori (in particolare di propulsione) si deve agire con un fluido ausiliario che disponga di energia sufficiente a generare le prime espansioni, **in modo che le successive compres-**

sioni portino l’aria nei cilindri ad una temperatura sufficientemente elevata per provocare le prime autoaccensioni del combustibile, che verrà iniettato nei cilindri.
Come fluido ausiliario è normalmente impiegata l**’aria compressa** a circa 30 bar. L’aria possiede energia sufficiente per sostituire il fluido motore durante la fase di avviamento.
Sia nel motore a 2 tempi che in quello a 4 tempi, l’aria dovrà essere immessa nel cilindro atraverso la valvola di avviamento, qualche grado dopo il punto morto superiore, con valvole tutte chiuse, in modo d’assicurare la marcia nel senso voluto. La chiusura della valvola d’avviamento si avrà un po’ prima dell’apertura di quella di scarico o delle feritoie di scarico.
L’ampiezza angolare disponibile per la fase di avviamento si può ritenere in media di 140 gradi, per un 4 tempi e di 120 gradi, per un 2 tempi. Per motori a più cilindri, la partenza sarà assicurata in qualunque posizione, quando la somma di tutti gli angoli avviamento dei vari cilindri supera la durata angolare del ciclo motore. Pertanto, detto r il numero dei cilindri, la condizione sarà verificata quando:

MOTORI 4 TEMPI - $r\alpha > 720°$; $r = 720/\alpha$; $\alpha = 720/r$

MOTORI 2 TEMPI - $r\alpha > 360°$; $r = 360/\alpha$; $\alpha = 360/r$

La maggior parte dei motori pluricilindrici presenta valvole di avviamento su tutti i cilindri, per una messa in moto più pronta. Si può passare dall’aria compressa all’iniezione del combustibile in due

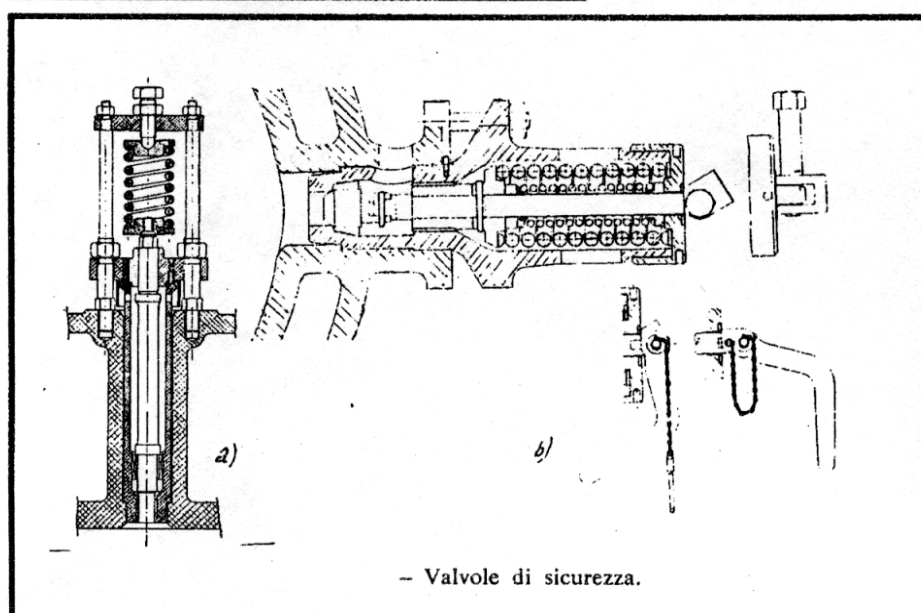
– Valvola di avviamento e distributore.

tempi successivi cioè: raggiunta la temperatura sufficiente, si esclude l’aria compressa da una metà dei cilindri passando gli stessi al combustibile, mentre continua ancora per qualche giro l’avviamento dei cilindri rimanenti, che subito dopo passeranno anch’essi all’iniezione del combustibile.
Esistono , però, motori pluricilindrici in cui solo metà dei cilindri sono muniti di valvole per l’avviamento. Gli altri sono per così dire trascurati, sino a che non si raggiungano le condizioni per l’iniezione del combustibile.

La distribuzione dell’aria di avviamento, che deve raggiungere le valvole è controllata da una **valvola principale automatica per l’intercettazione,**

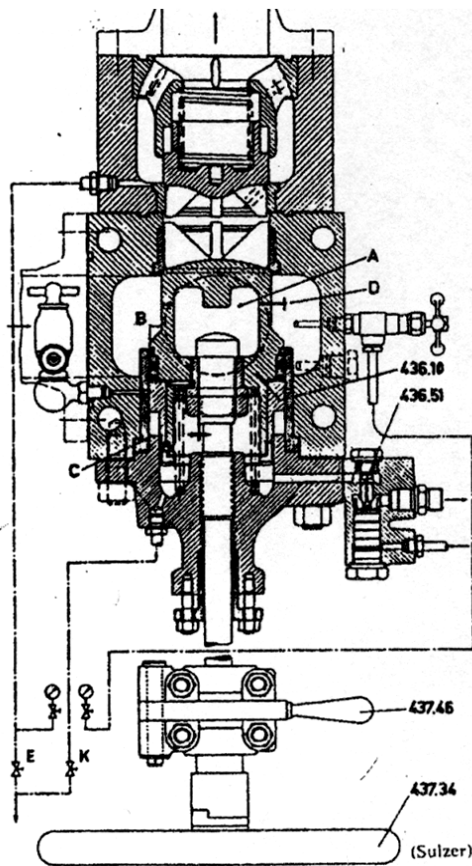
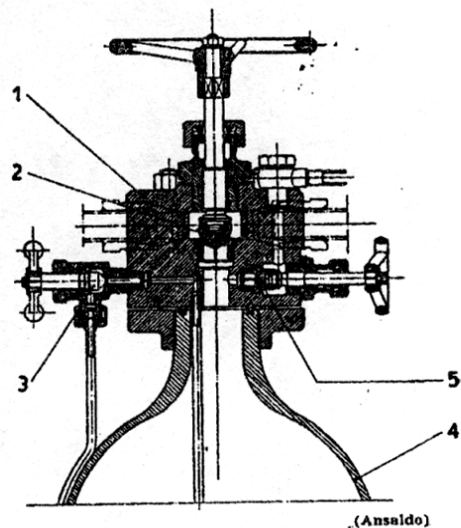
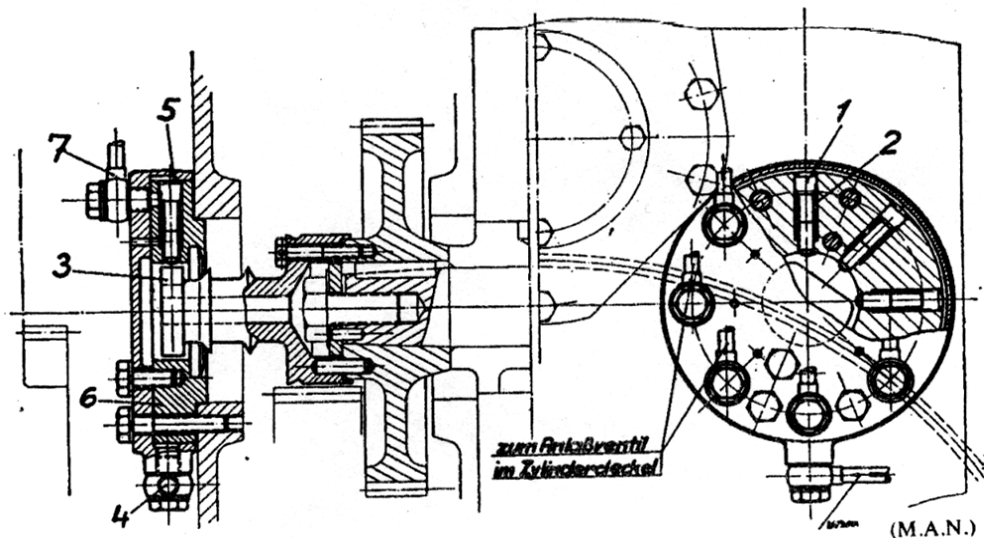
(Sulzer)

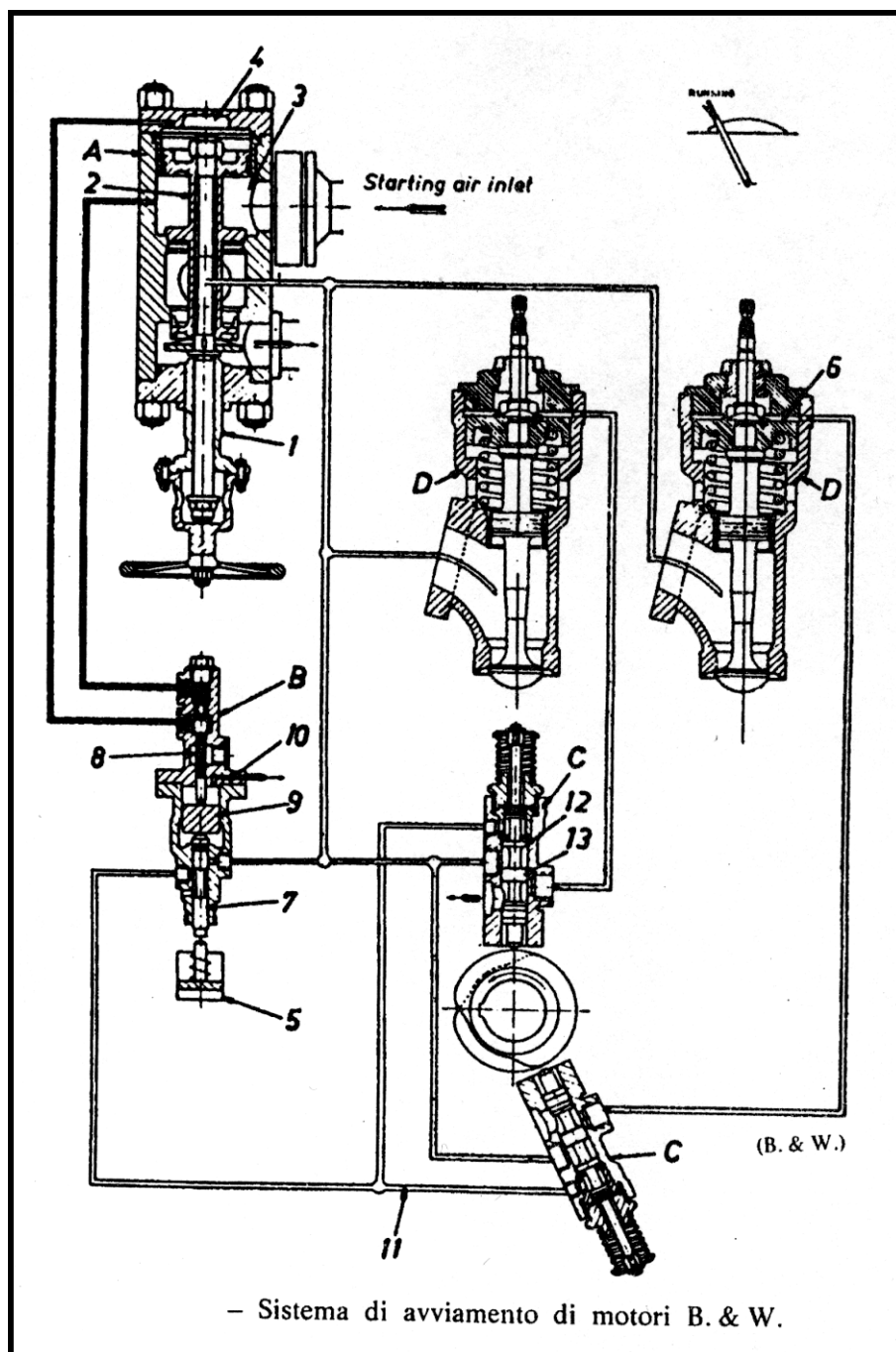
– Valvola di avviamento per motori Sulzer.

normalmente sistemata vicino alla parte superiore del blocco cilindri. La valvola è collegata all’aria mediante un tubo proveniente dalla bombola di pressione. Rimane chiusa automaticamente; tuttavia, è sempre preferibile chiuderla manualmente ogni qual volta le manovre sono ultimate.

Nel caso di revisioni della macchina è obbligato-

– Valvole di sicurezza.

ria -per motivi di sicurezza- la chiusura a mano.

Nei motori a 4 tempi medio veloci, il circuito aria-avviamento, a parte diversi dettagli di posizionamento, è analogo a quelli illustrati. Il caso di motori a V, le valvole d'avviamento sono sistemate soltanto sulle testate di una linea di cilindri.

– Valvola principale di avviamento.

– Bombola aria compressa.

– Distributore aria avviamento.

– Sistema di avviamento di motori B. & W.

- Valvola di sicurezza

Allo scopo di evitare che la pressione nel cilindro raggiunga o superi il limite massimo ammissibile, sulla testata è applicata una valvola di sicurezza, caricata da una robusta molla o doppia molla. Queste condizioni vengono a verificarsi qualora si abbia un accumulo di combustibile nel cilindro che, poi, brucia simultaneamente in quantità maggiorsi rispetto a quella di normale funzionamento. Il fenomeno può essere dovuto specialmente quando nel cilindro, in fase d'avviamento vengano a mancare le prime accensioni nel passaggio dal funzionamento ad aria compressa a quello col combustibile.

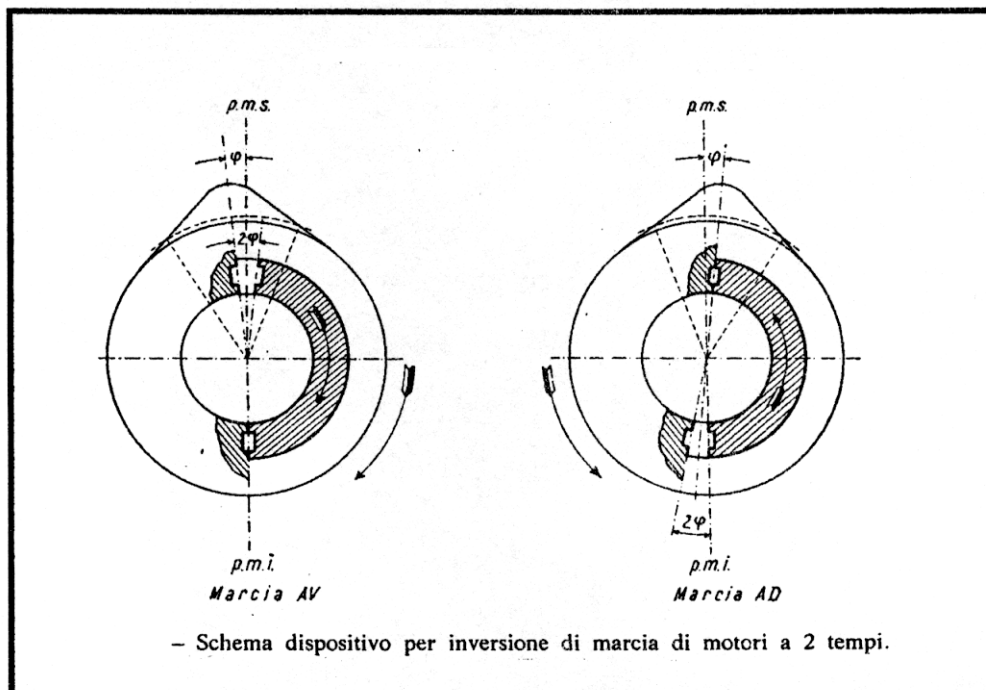
§ 17 - Inversione di marcia nei motori Diesel

I motori di propulsione a 2 tempi (lenti) collegati direttamente all'elica a pale fisse devono essere di tipo reversibile, per far girare l'elica nel senso opposto quando necessario per la manovra; e per produrre la marcia indietro. L'uso del motore reversibile non è necessario qualora il collegamento mo-

tore-elica venga effettuato tramite riduttore-invertitore (motori medio veloci e veloci). Se, poi, com'è attuale tendenza, si impiegano le eliche reversibili, l'inversione di marcia si ottiene invertendo l'orientamento delle pale. I motori reversibili richiedono dispositivi per l'inversione di marcia. Essi variano dai tipi a 4 e 2 tempi. Nei primi, la distribuzione nei cilindri è affidata alle valvole (aspirazione e scarico) ed ai polverizzatori; per ogni cilindro sull'albero della distribuzione sono previste 3 camme, orientate e bloccate. Pertanto, volendo realizzare un motore in grado di girare in entrambi i sensi, è necessario che le camme possano intervenire a comandare la distribuzione anche nell'altro senso di marcia. Ciò potrebbe essere possibile per le camme a profilo simmetrico il cui asse di simmetria sia parallelo e coincidente a quello del cilindro quando il corripondente stantuffo sia al **pms** ed il bocciolo della camma con il punto di massima **H** sull'asse di simmetria.
Questa condizione implica fasi della distribuzione simmetriche rispetto al pms. Che si svolgano, con simmetria metà prima e metà dopo il **pms**. Ciò non può realizzarsi contemporaneamente per tutte le camme.
Nei motori a 4 tempi, fasi simmetriche rispetto al **pm** non se ne hanno. Per un dato senso di marcia si seguono nell'ordine:
1) aspirazione;
2) iniezione;
3) scarico.
Per cui, volendo invertire il senso di rotazione alle camme di aspirazione seguirebbero quelle di scarico, col risultato di scaricare l'aria del cilindro, dopo che è stata ammessa, ed il motore non potrebbe funzionare. Anche se per ipotesi, durante l'avviamento, lo stesso fosse partito in senso contrario, in definitiva le camme predisposte per la marcia in un senso non possono essre utilizzate per quella inversa. Pertanto, esistono appositi dispositivi per l'inversione di marcia.
Il sistema più semplice è la **doppia camma (camme a doppia pista).** Cioè, l'albero di distribuzione presenta 2 serie di camme, opportunamente disposte: una serie per la marcia avanti, l'altra per l'indietro. Per ciascuna coppia, i boccioli risultano ugualmente distanziati tra loro, secondo piani normali (90°) all'asse di rotazione. Sfalsati angolarmente così da risultare simmetrici rispetto al piano longitudinale dell'asse a camme che si dispone verticalmente quando lo stantuffo del corripondente cilindro è al **pms**. A seconda del senso di marcia, le punterie di comando dovranno essere azionate da una serie di camme o dall'altra. A tale scopo, sono stati ideati vari sistemi. Il più comune consiste nello spostare l'asse a camme longitudinalmente di una quantità pari alla distanza assiale tra i corripondenti sistemi. In tal modo, mentre un ordine di camme va fuori servizio, l'altro si dispone con le piste sotto i corripondenti rulli.
Nei moderni motori, lo spostamento assiale è effettuato col **servomotore pneumatico.** Durante l'operazione è possibile che il nasello di qualche camma scontri il corripondente rullo per cui è necessario un dipositivo che allontani temporaneamente i rulli mentre l'asse viene spostato

(M.A.N.)
– Albero a camme per motore reversibile MAN.

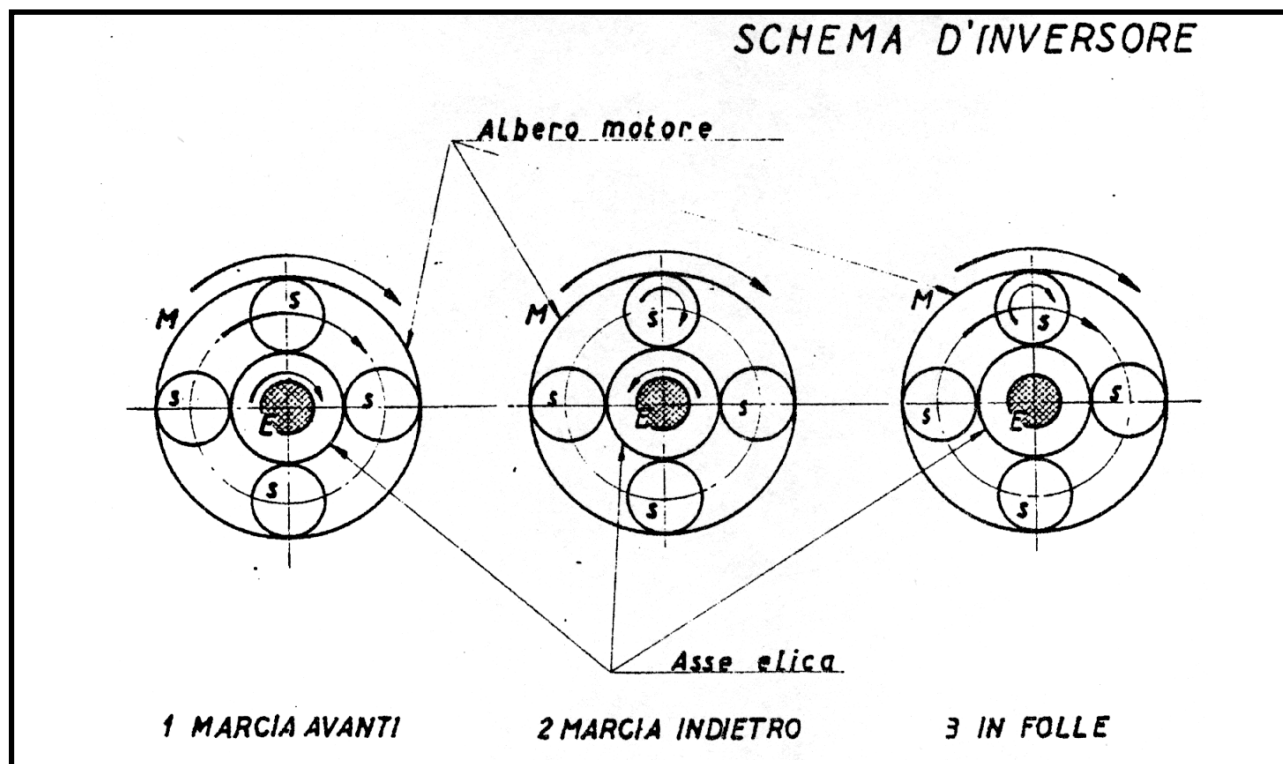
Nei motori a 2 tempi, il problema dell'inversione di marcia è semplificato. E', infatti, parzialmente eliminato il proble-

ma della doppia camma. **Per i motori 2 tempi con feritoie di lavaggio e di scarico**, con circuito di avviamento indipendente, l'unica camma interessante l'asse della distribuzione è quella della pompa di iniezione. Per cui, l'unico comando che bisogna spostare (col sistema della doppia camma) è quello delle pompe combustibile. Esistono, peraltro, motori a 2 tempi che presentano anche camme d'avviamento doppie sul medesimo asse, e spostamento assiale per l'inversione di marcia come nei motori a 4 tempi. **Nel caso di motori a 2 tempi con lavaggio trasversale o a cappio,** nei quali si abbia un unico asse della distribuzione per le camme del combustibile, con camme di tipo simmetrico tutte uguali opportunamente fissate all'albero secondo la successione delle fasi nei vari cilindri, non sarà più necessario l'impiego della doppia camma. Basterà, invece, ruotare l'asse delle camme nel senso conveniente e di un determinato spazio angolare, in modo da disporre la bisettrice dei naselli in posizione simmetrica rispetto al piano che assume giacitura verticale, quando il corrispondente stantuffo è al punto morto superiore. Lo schema illustra un dispositivo assai semplice che permette di realizzare lo sfasamento angolare necessario all'inversione di marcia.

– Schema dispositivo per inversione di marcia di motori a 2 tempi.

Come si vede, il bocciolo della cam-ma per la marcia in un senso **(AV)** si trova a sinistra dell'asse verticale e forma con esso un angolo **"ϕ"**. Quando con un nuovo avviamento si inverte il senso di rotazione del motore, l'albero delle camme dovrà ruotare nell'angolo **2ϕ,** ancor prima di spostare il motore nell'altro senso, in modo da portare l'angolo ϕ simmetrico, dall'altra parte rispetto all'asse verticale. Nei motori **a lavaggio assiale, o uniflux** il cilindro presenta inferiormente soltanto una corona di luci di lavaggio, la cui apertura e chiusura -per la fase di lavaggio e carica- è regolata dallo stantuffo motore. Per lo scarico, provvede invece la valvola situata al centro della testata. Essa potrà essere azionata meccanicamente -tramite camma, rullo, punteria e bilanciere-. Oppure, come è nei moderni motori, da un servomotore idraulico, il cui pistone è comandato meccanicamente da camme e punteria.

In ogni caso, si deve quindi prevedere una camma per la valvola di scarico, e -se la fase non fosse simmetrica- si porrebbe anche per lo scarico l'esigenza della doppia camma. Senonchè, il problema si semplifica notevolmente nei motori a lavaggio assiale, che impiegano il sistema di sovralimentazione a pressione costante. In essi, le valvole di scarico richiedono tempi uguali e simmetrici, di apertura e chiusura (prima e dopo il punto morto inferiore). Pertanto, sarà impiegata la camma di scarico a profilo simmetrico, con angolo ϕ nullo che non richiederà alcuna rotazione sull'albetro della distribuzione, quando si deve eseguire l'inversione di marcia. In tal modo, il sistema risulta equivalente a quello realizzato dallo stantuffo motore nel lavaggio a cappio, che apre e chiude le feritoie di scarico in posizione simmetrica rispetto al punto morto inferiore. La trasmissione tra asse a camme ed albero motore è cinematicamente fissa, ed il senso della rotazione è invertito automaticamente durante l'avviamento ad aria compressa. Quindi, la relazione tra i due assi è la

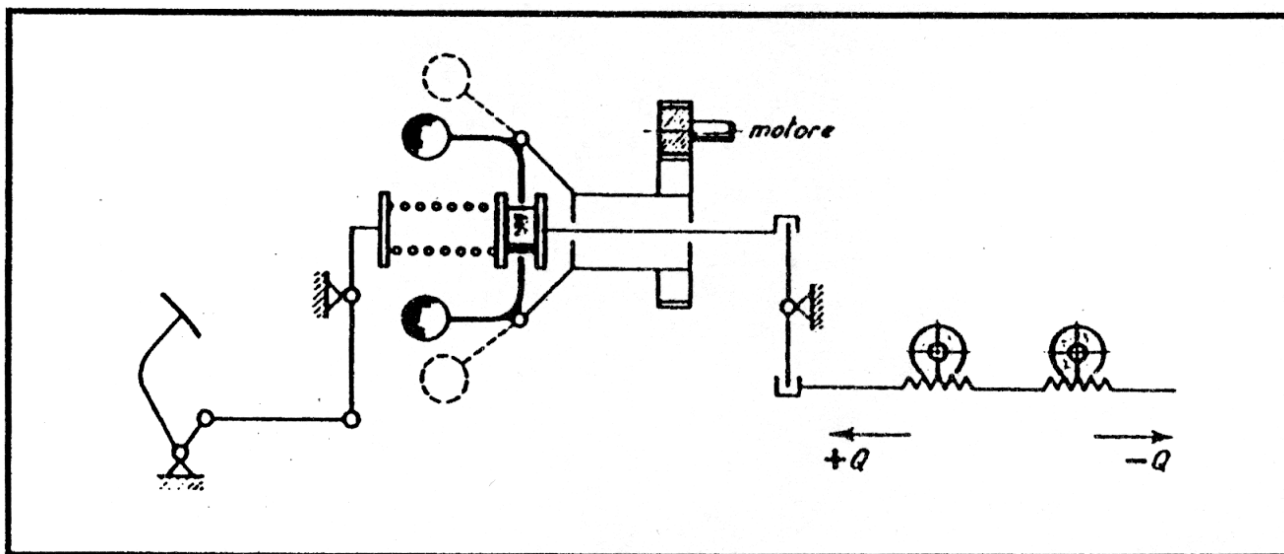
stessa, sia nell'operazione a marcia avanti **(AV)** che a marcia indientro **(AD)**.
Le camme che muovono gli attuatori delle valvole di scarico sono collegate rigidamente al loro albero ed anche per esse la corrispondenza all'albero delle manovelle è identica nei due sensi.

- Inversione diretta
Questo sistema è applicato su motori di piccola potenza.
Tra l'albero motore e la linea d'assi è inserito un organo che viene appunto chiamato **inversore**.
Nella figura seguente è schematicamente rappresentato un inversore; la **corona dentata M** è portata dall'albero motore e gira perciò sempre nello stesso senso; coassiale ad essa vi è l'ingranaggio **E** portato dall'asse dell'elica. Fra queste due ruote ingranano costantemente degli altri ingranaggi **S** detti satelliti. I perni su cui ruotano questi satelliti sono portati da un particolare supporto, di forma diversa a seconda del tipo di inversore.
Detto supporto può trovarsi in tre diverse condizioni:
1) Può essere solidale con l'albero motore oppure con l'asse dell'elica. In questa posizione gli ingranaggi satelliti non ruotano attorno al loro asse e funzionano come chiavette; tutto il sistema (compreso quindi l'asse dell'elica) gira nello stesso senso del motore.

2) Può essere solidale con lo scafo. Il moto è trasmesso invertito all'asse dell'elica dagli ingranaggi satelliti che ruotano attorno al proprio asse.
3) Può essere lasciato libero (folle). L'ingranaggio **E**, e quindi l'asse dell'elica, tende a ruotare in senso inverso , ma poichè la resistenza offerta dall'acqua frena il moto dell'elica, i satelliti girando si svolgono sulla ruota **E**, facendo ruotare il loro supporto nello stesso senso del motore con velocità ridotta, mentre l'asse dell'elica rimane fermo.
Nella figura è rappresentato lo schema di un'inversore montato su un motore per peschereccio. Gli ingranaggi sull'albero motore e sull'asse dell'elica sono conici e così pure i satelliti. La scatola porta satelliti può essere resa solidale allo scafo per mezzo di un **freno a ganascie**. Dopo l'inversore vi è un innesto a frizione a dischi multipli.
Freno dell'inversore e innesto della frizione sono comandati da una unica leva.
Il funzionamento di questo inversore è il seguente:
Marcia avanti: il freno è allentato e il moto dall'ingranaggio sull'albero motore si trasmette, attra-

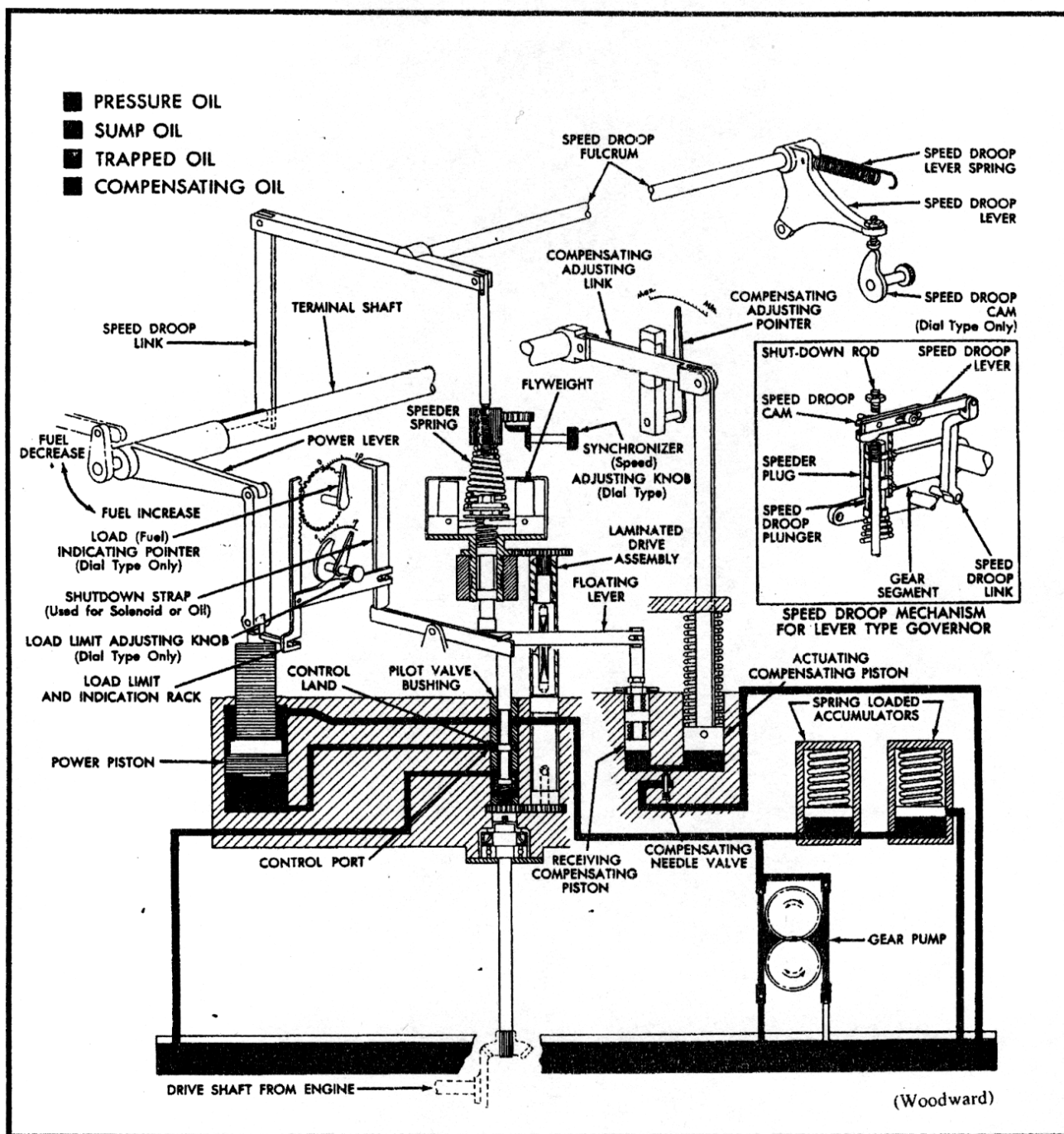
verso i quattro satelliti, alla scatola e quindi, essendo la **frizione innestata,** sull'asse dell'elica.
Marcia indietro: la scatola dei satelliti è bloccata dal freno -il moto della ruota motrice ala ruota sull'asse dell'elica è trasmesso invertito attraverso i satelliti. La **frizione è disinnestata.**
Fermo: la scatola dei satelliti è libera di ruotare **(freno allentato)**, ma essendo la frizione disinnestata, il moto non si trasmette all'asse dell'elica.
Esistono, nelle piccole imbarcazioni, altri tipi di inversore però tutti sul principio sopra esposto.

§ 17.1 - Regolazione delle macchine

Lo **scopo della regolazione è essenzialmente quello di eliminare gli squilibri tra momento motore e momento resistente**, che si generano ogni volta che varia il carico, ciò si ottiene regolando la quantità del fluido attivo introdotto nella motrice, oppure variando le caratteristiche del fluido motore. Negli impianti di propulsione, la regolazione viene fatta direttamente dal conduttore, agendo direttamente sulle leve di manovra o altro dispositivo che regola l'ammissione del fluido attivo nella macchina, sino ad ottenere l'equilibrio per la condizione di regime al numero di giri prestabilito.
In un primo tempo, per molte macchine ci si accontentava di regolatori alquanto semplici che agivano soprattutto quali regolatori di sicurezza contro il superamento di una velocità limite; attualmente quando si voglia mantenere il motore primo ad un prestabilito numero di giri, pur variando il carico del motore, è prevista la **regolazione automatica** per mezzo di apposito **regolatore di governo o di marcia**, con la possibilità di prevedere regimi di rotazione diversi,
intervenendo sulla taratura dello stesso apparecchio. Tutte le macchine motrici, e turbine, motori Diesel o altri tipi di motori primi debbono essere equipaggiati di un regolatore di massima velocità, che entra in azione quando per una qualsiasi causa la velocità del motore supera il limite prestabilito. L'in-

conveniente si verifica quando il momento resistente si riduce bruscamente come, ad esempio per emersione dell'elica durante il beccheggio, per la rottura di qualche pala o anche la perdita dell'elica stessa.

- Regolatore centrifugo a masse

Nella figura è riportato uno schema di un regolatore centrifugo a masse. Premendo il pedale, si forza il carico sulla molla. Tale aumento eleva il regime d'intervento del regolatore, consentendo al motore di raggiungere velocità più elevate. Tenendo fermo il pedale in una data posizione, la velocità di marcia verrà mantenuta costante dalla velocità del motore perchè: se il carico esterno diminuisce, il conseguente aumento della velocità del motore provoca l'allontanamento delle masse centrifughe che spostano il collare -diminuendo la portata della pompa, si riduce la quantità di gasolio introdotta- decresce la potenza sviluppata dal motore, la cui velocità viene così riportata al valore stabilito dalla posizione

del pedale.
Se il carico esterno aumenta, la diminuzione del numero dei giri del motore fa aumentare le masse che

spostano il collare nel senso di aumentare la portata della pompa. Per la maggior quantità di gasolio introdotta aumenta la potenza e quindi la velocità del motore, che viene così riportata al valore stabilito.

- Regolatore Woodward

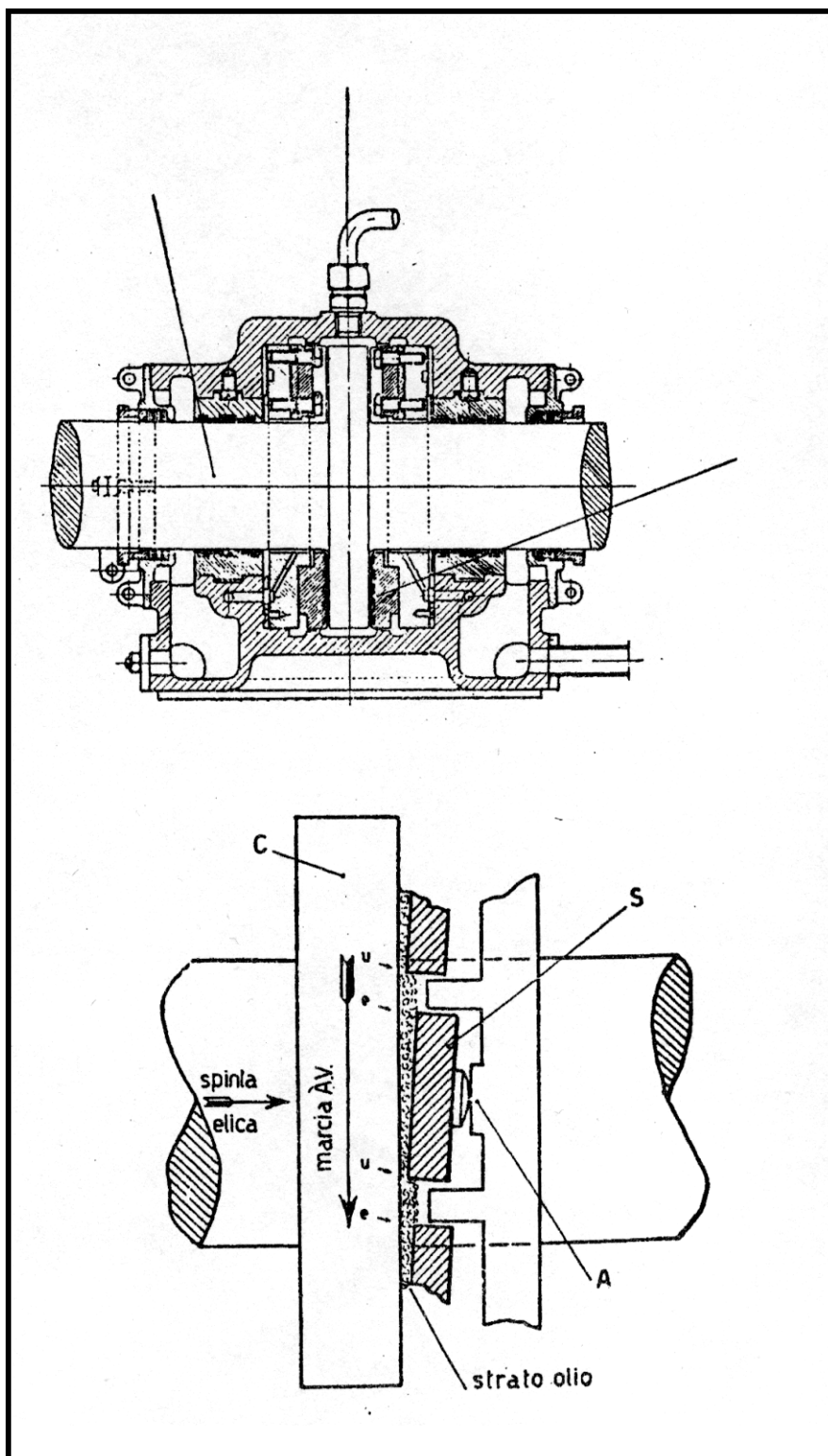
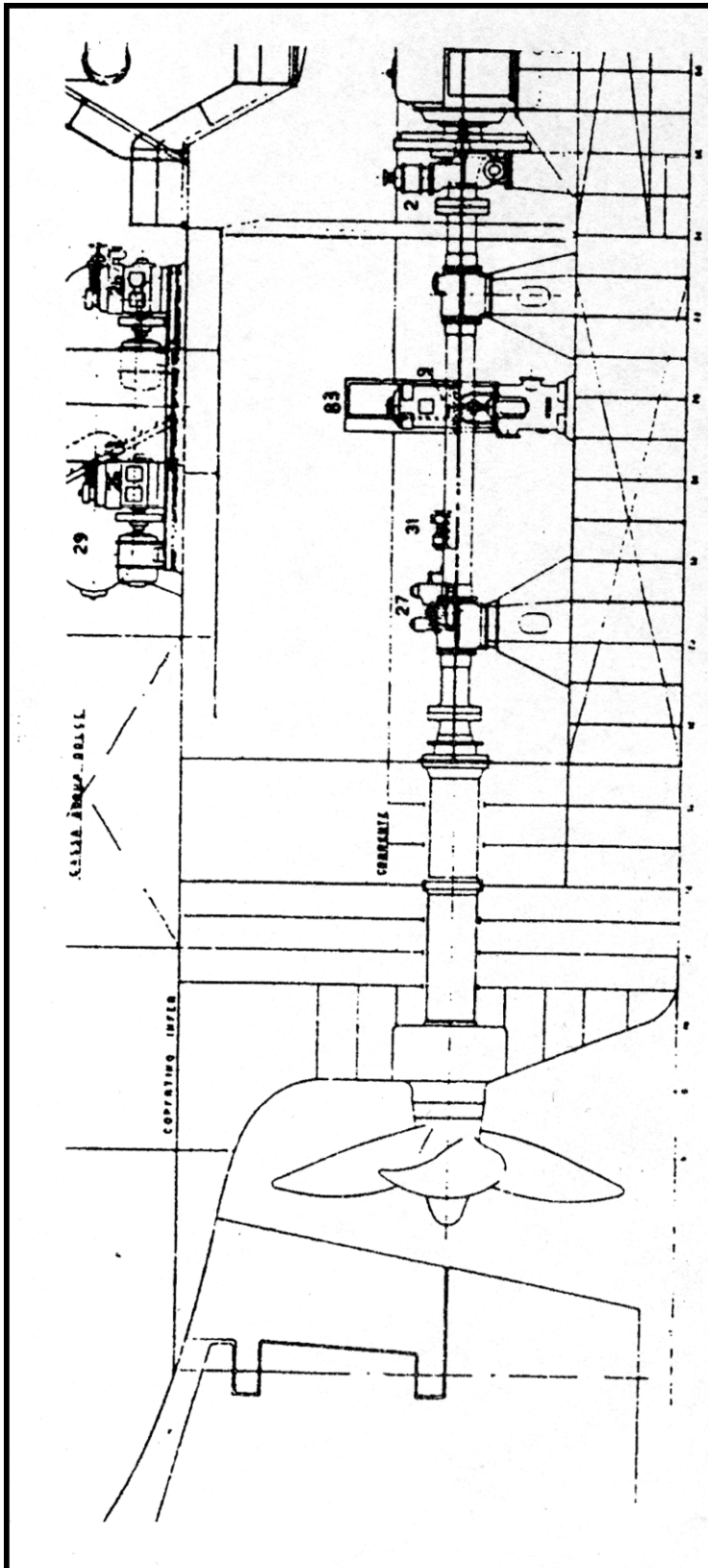
Nella figura, è riportato lo schema di un regolatore woodword di tipo idraulico a funzionamento isocrono (velocità costante e carichi variabili). Senza entrare in merito al funzionamento di tale

regolatore, possiamo affermare che grazie ai requisiti di prontezza e sensibilità, oltre alla capacità di controllo a distanza, tutte le case costruttrici di motori preferiscono ormai affidarsi a questi tipi di regolatori.

§ 17.2 - Cuscinetto reggispinta

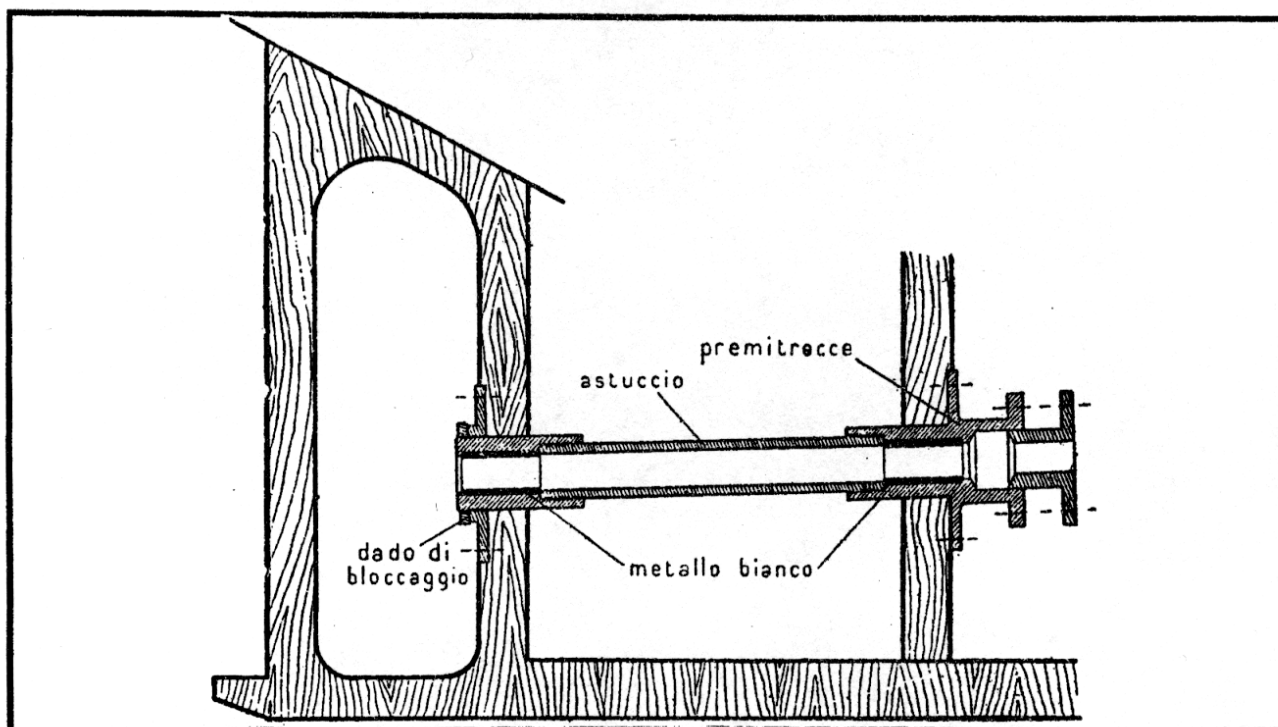
La spinta impressa dall'elica all'albero di trasmissione è retta dal cuscinetto reggispinta che è situato a poppavia del motore. Evita lo scorrimento longitudinale della linea d'asse che sarebbe dannoso all'albero motore. Esso farebbe insorgere attriti tra i bordi dei cuscinetti ed i bracci delle manovelle

che si sposterebbero verso prora o poppa (secondo la marcia avanti o quella indietro). Il tipo più diffuso è quello Mitchell, a settori orientabili.

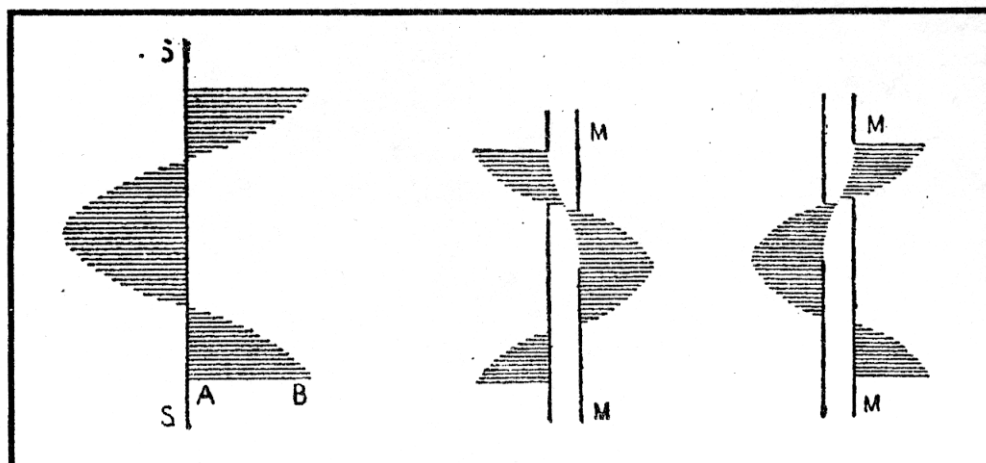
Il cuscinetto è costituito da una flangia sporgente dall''albero. Di fronte a ciascuna faccia della flangia, è situata una serie di 6 o 8 settori d'acciaio rivestiti con metallo bianco. I settori sono addossati alla cassa del cuscinetto con appoggi centrali che permettono loro piccole oscillazioni, mentre una specie di gabbia impedisce che essi vengano trascinati in rotazione l'uno di seguito all'altro. La continua circolazione d'olio, derivata dalla pompa centrale del motore, mantiene annegate nel lubrificante tutte le parti interne di lavoro. Il funzionamento del Mitchell si comprende meglio osservando la figura:

Durante la marcia avanti, la faccia verso prora del collare C viene spinta contro i settori S che la fronteggiano ed uno strato di olio, trascinato in rotazione, si insinua tra la predettasuperficie del collare e quella dei settori della zona d'entrata, favorito dall'assetto inclinato che assumono questi ultimi, che possono oscillare intorno agli appoggi A. In tal modo, lo strato del lubrificante -pur assottigliandosi verso la zona d'uscita- non s'interrompe mai: neanche sotto grandi spinte o pressioni assiali dell'albero, perchè l'olio resta compresso tra le superfici interessate, in virtù del proprio moto di trascinamento. Durante, la marcia indietro sono interessati nel medesimo modo i settori a poppavia dell'albero.

§ 18 - Asse dell'elica

All'estremità interna dell'albero dell'elica, proveniente dal suo astuccio, è accoppiato l'albero di trasmissione, la cui lunghezza varia con le dimensioni della nave. L'albero di trasmissione, realizzato in uno o più tronchi accoppiati, è guidato da appositi cuscinetti sopportati e lubrificati con olio o grasso consistente. Esso si unisce a sua volta a -proravia-con l'albe-

ro motore. Gli accoppiamento sono ottenuti con flange piane connesse grazie con bulloni a vite e dado di bloccaggio.

Talvolta, l'accoppiamento è ottenuto con un giunto elastico che attenua l'effetto del mutare d'assetto della nave, sotto gli effetti della navigazione nel moto ondoso. Gli alberi di breve lunghezza, specie negli scafi assai rigidi, non abbisognano di questo dispositivo.

§ 19 - Albero portaelica

L'albero portaelica, come tutta la linea d'asse, è d'acciaio. Può essere di bronzo per i motori di piccola potenza. L'asse ruota nell'apposito astuccio, che attraversa il massiccio di poppa (nelle imbarcazioni in legno) od il recesso poppiero (in quelle a struttura metallica). Nei piccoli natanti, l'asse è sopportato da boccole antifrizione, fissate internamente all'estremità dell'astuccio e lubrificate da un ingrassatore a scatola con coperchio di pressione. Un premitrecce, esterno allo scafo, ed un altro analogo, all'interno servono ad impedire la facile sfuggita del lubrificante e l'infiltrazione dell'acqua di mare nell'astuccio.

Negli scafi maggiori, quest'ultimo ha rivestimento in doghe di legno santo (recentemente sostituito con speciali materie plastiche) che guidano e sopportano il peso dell'albero in luogo delle boccole.
II legno santo è lubrificato dall'acqua di

mare che penetra nelle fibre esterne. All'interno, una guarnizione sulla losca della paratia del gavone impedisce il passaggio dell'acqua. La guarnizione non deve essere del tutto stagna, per evitare il surriscaldamento da attrito. Nel corso di lavori in bacino, la guarnizione deve essere verificata ed eventualmente sostituita. Albero, elica e gli altri organi debbono essere protetti dalla corrosione galvanica con placche di zinco opportunamente posizionate. Esse si corrodono gradualmente e debbono essere regolarmente rimpiazzate. Le placche, per essere efficaci, non debbono mai essere verniciate.

§ 20 - Eliche di propulsione

L'elica avanza secondo una **figura geometrica detta eli-coide** (illustrata di seguito), generata dalla rotazione e dal contemporaneo spostamento assiale di una semiretta AB intorno ad un asse SS.
Considerando una certa lunghezza della semiretta, immaginando che tale movimento avvenga attorno ad un cilidretto -prendendo una porzione a foglia dell'elicoide- avremo realizzato la pala di un'elica. Essa sarà destrorsa o sinistrorsa a seconda del senso di rotazione.
L'elica può essere dotata di 2 o più pale. **Mozzo** dell'elica, è detta quella parte del cilidretto centrale cui sono connesse le pale. Il mozzo è dotato di un foro conico centrale nel quale penetra con chiavetta l'estremità dell'asse dell'albero portaelica. Il tutto è bloccato da un dado. Il passo dell'elica è l'avanzamento teorico dovuto all'avvitamento delle pale nell'acqua. In pratica, però, il passo non coincide col reale avanzamento. **La differenza è il regresso.**
La scelta dell'elica è formulata sulla base di precisi calcoli ingegneristici. Sono in primo luogo finalizzati ad evitare la cavitazione. Cioè, l'assenza di avvitamento dovuta al vuoto d'acqua prodotto dall'eccessiva velocità di rotazione. Una pala, in questo caso, entra nel vuoto prodotto da quella che lo precede nel moto rotatorio.

§ 21 - Operazioni per la messa in moto

Elenchiamo le principali operazioni che un motorista deve compiere per avviare il motore e manovrarlo dopo un lungo periodo di inattività.
1) Verificare il buono stato di manutenzione degli organi della distribuzione e dell'iniezione, lubrificandoli abbondantemente a mano, con la stagnina a becco.
2) Verificare i filtri della nafta e dell'olio.
3) Accertarsi della disponibilità di combustibile nella cassa di servizio, operandone il travaso, se necessita, dai depositi esistenti a bordo per mezzo della pompa a mano. Aprire, intanto, la valvola d'intercettazione del serbatoio di servizio per fare affluire la nafta alle pompe di iniezione.
4) Accertarsi del livello d'olio nella coppa del motore ed effettuare l'eventuale immissione di nuovo lubrificante. Riempire anche la cassetta delle pompe multiple di lubrificazione dei cilindri, ove esista tale sistema.
5) Riempire tutti i condotti di lubrificazione con l'apposita pompa a mano, per avere tutti gli organi in attrito abbondantemente lubrificati, al momento della messa in moto.
6) Aprire la valvola di presa dal mare dell'acqua per il raffreddamento ed assicurarsi dell'uscita delle bolle d'aria, aprendo i rubinetti di sfogo sulla tubazione della pompa.
7) Controllare la pressione esistente nella bombola di avviamento. Nel caso che la pressione difetti, che sia cioè inferiore a 15./.12 Kg per centimetro quadrato, usare l'aria della bombola di riserva per non rendere dubbiosa la messa in moto.
8) Assicurarsi che il motore giri liberamente a mano, con i rubinetti di spurgo dei cilindri aperti. Ciò è possibile se il motore è collegato all'albero dell'elica mediante il sistema di frizione.
9) Fare il pieno di nafta alle pompe di iniezione ed ai polverizzatori, mediante alcune pompate a mano con l'apposita leva, per togliere le bolle d'aria interne che impedirebbero i primi spruzzi liquidi nei cilindri, e chiudere i rubinetti a spillo di spurgo dei polverizzatori soltanto quando sia cessata l'effervescenza.

10) Mettere il volantino o la manetta varia-giri in posizione di velocità media del motore.
11) Mettere il motore al punto di partenza e cioè alcuni gradi oltre il pms, in fase d’avviamento di un cilindro, secondo l’indicazione segnata sul volano o diversamente. tele operazione è necessaria per motori fino a 4 cilindri.
12) Chiudere i rubinetti di spurgo dei cilindri.
13) Aprire la valvola di presa d’aria della bombola.
14) Agire sulla leva a mano della valvola principale di avviamento fintantochè non sia avvertano le prime accensioni, ossia soltanto per un periodo di alcuni secondi. Se trattasi di motore ad inversione diretta di marcia, e perciò accoppiato rigidamente all’elica, l’azione sulla leva di avviamento, ossia la manovra del motore, deve avvenire secondo le indicazioni del senso di marcia e delle velocità che vengono trsamesse di volta in volta al locale di macchina da ponte di comando della nave.
15) Avviato il motore avente il collegamento a frizione aon l’albero dell’elica, regolare i giri regolando il motore folle a lento moto.
16) Richiudere la valvola di presa d’aria della bombola.
17) Assicurarsi dell’effettiva circolazione d’acqua di raffreddamento e di olio, controllandone la pressione sui manometri inseriti nei loro circuiti.
18) Dopo alcuni minuti di marcia, prima di dare il carico al motore -sempre che questo possa marciare disinnestato dall’elica- conviene effettuare la ricarica della bombola, aprendo la sua valvola di ritenuta ed attivando il funzionamento del compressore unito al motore, fintantochè la pressione massima della bombola non sia ripristinata.
19) Evitare di caricare bruscamente il motore all’inizio della marcia, ma fargli assumere il carico gradualmente, ed eseguire i cambiamenti di marcia in maniera dolce, con l’invertitore ad ingranaggi, per preservare le sue dentature da eventuali strappi.
Se il motore non si avvia dopo 2 o 3 tentativi, non si deve insistere oltre, ma si deve invece ricercare la causa del mancato avviamento per eliminarla. Come si sarà compreso, alcune delle predette operazioni riguardano il motore avente il sistema d’avviamento ad aria compressa. Col sistena elettrico, la messa in moto si esegue lanciando la corrente degli accumulatori al motorino di avviamento, mediante la manovra di apposito interruttore a chiavetta che, nello stesso tempo, dà corrente pure alle candele di riscaldo se il motore ha l’iniezione indiretta.
Le operazioni per l’avviamento a mano del motore di minima potenza sono anch’esse comprensibili, dopo quanto esposto.

§ 22 - Condotta del motore

Il motorista deve prestare attenzione a:
1) al livello del combustibile contenuto nella cassa di servizio, affichè non ne manchi mai al rifornimento delle pompe di iniezione, eseguendo tempestivi travasi dai depositi di riserva;
2) al livello dell’olio nella coppa del basamento ed alla sua pressione prima e dopo il filtro; inoltre, al rifornimento della eventuale cassetta di lubrificazione interna, a pompette multiple;
3) alla temperatura dei cuscinetti di banco e degli altri supporti secondari con l ‘**assaggio** periodico ad ogni quarto d’ora, ove è possibile effettuarlo con la mano;
4) alla temperatura dell’acqua di raffreddamento, all’uscita dal motore;
5) allo svolgimento della combustione, aprendo i rubinetti- spia sui tronchetti di scarico dei cilindri, per osservare il colore dei gas combusti. Serve anche il controllo nel modo già indicato, cioè mediante l’esposizione al soffio dei gas di un foglietto di carta che deve restare soltanto debolmente imbrattato. L’attenzione del motorista deve essere volta anche e particolarmente ai rumori che possono essere indice di cattivo funzionamento. Anche l’eventuale odore di olio bruciato che si spanda dall’incastellatura deve far sospettare il surriscaldamento di qualche cuscinetto di banco o di una biella.
Il personale addetto alla guardia del motore non deve perciò mai assentarsi dalla sala macchine. Spesso occorrono interventi tempestivi.

§ 23 - Arresto del motore

Il motorista deve attenersi a:

1) togliere il carico gradualmente, poco prima di fermare il motore:

2) intervenire quindi sulle aste di regolazione delle pompe di iniezione, per arrestarlo;

3) chiudere la valvola di presa della nafta della cassa di servizio e la valvola di **presa mare** dell'acqua di raffreddamento;

4) aprire i rubinetti di spurgo dei cilindri;

5) controllare le temperature raggiunte dai cuscinetti di banco, di biella, dalle articolazioni dell'eventuale compressore della pompa d'aria di lavaggio, se trattasi di un motore a 2 tempi ecc.

6) versare un po' di petrolio sulle valvole dei cilindri;

7) ingrassare abbondantemente tutte le parti soggette alla ruggine, in previsione di un prolungato periodo di inattività;

8) scaricare tutta l'acqua di raffreddamento in circolo, aprendo i rubinetti o i tappi di vuotamento esistenti sulla tubazione, per misura preventiva contro gli eventuali danni del gelo, durante la rigida stagione invernale.

§ 24 - Inconvenienti di funzionamento del motore Diesel

Natura dell'inconveniente	CAUSA	RIMEDIO
Manca l'accensione	Combustibile di cattiva qualità	Adoperare combustibile adatto e di densità appropriata
	Acqua nel combustibile	Pulire scrupolosamente serbatoio, filtri e condotte e versare combustibile nuovo
	Manca il combustibile	Aprire i rubinetti della condotta del combustibile o pulire il filtro per far giungere la nafta alle pompe, ammesso che non dipenda dal serbatoio vuoto
	Aria nel combustibile	Togliere l'effervescenza della nafta con alcune pompate a mano
		Verificare che non vi sia imperfetta tenuta nella tubazione d'afflusso della nafta e nel suo filtro

Natura dell'inconveniente	CAUSA	RIMEDIO
Manca l' accensione	Pompa del combustibile con errata regolazione	Controllare la regolazione secondo le norme della Casa costruttrice
	Iniettore mal registrato	Controllare l' iniettore, in ispecie la tensione della molla
	La valvola d'aspirazione, di scarico o d'avviamento non fa tenuta o lavora male (nei motori a quattro tempi)	Pulire le valvole, smerigliare il cono di tenuta, controllare le molle ed il movimento delle leve di comando
	Spessori sotto le bielle scambiati o dimenticati	Ripristinare la lunghezza teorica delle bielle, da cui dipende il volume e perciò la pressione di compressione della camera di combustione
	Lo stantuffo ha le fasce elastiche ad imperfetta tenuta	Pulire lo stantuffo e le fasce, rendendole mobili
	La carta di accensione si è spenta o la spiralina elettrica d'avviamento non riceve la corrente	Mettere la sigaretta ben incandescente nel portacarta e sporgente 20-25 mm. al massimo dal bossolo Verificare la spiralina
La potenza diminuisce, ossia il motore perde i giri	Per il sopraggiungere di qualcuna delle precedenti cause	———
	Qualche cuscinetto si riscalda o uno stantuffo grippa	Arrestare il motore e dopo che sia raffreddato smontare il cuscinetto o lo stantuffo, eliminando scrupolosamente ogni traccia di grippamento
	Lavaggio imperfetto per valvole automatiche d'aria a dischi incollate o per valvole a lamelle metalliche rotte. (Nei motori a due tempi)	Pulire i dischi dalla morchia dell'olio Cambiare le lamelle rotte
Tutti i cilindri fumano	Forte sovraccarico del motore	Diminuire il carico
	Lubrificazione eccessiva	Registrare la lubrificazione Verificare che nei motori a due tempi, con il lavaggio nel basamento, l'olio ad alto livello nella coppa non venga trascinato nei cilindri con l' aria

Natura dell'inconveniente	CAUSA	RIMEDIO
Un cilindro dà fumo	Sovraccarico di quel cilindro	Verificare la relativa pompa del combustibile
	L' iniettore funziona male	Verificare la sua molla, l'ago e la piastrina e pulirne i forellini o sostituirla
Un cilindro batte	Pressione d' iniezione **troppo alta**	Verificare la molla dell' iniettore
		Registrare la pompa del combustibile
		Controllare la posizione di p.m.s. dello stantuffo
Urto nel motore	Lasco nel cuscinetto di una manovella o nella boccola dello spinotto o in un cuscinetto di banco	Dare serraggio al cuscinetto Cambiare la boccola allo spinotto
Velocità normale ribassata	Molla del regolatore mal registrata	Registrarla con le marche indicate dalla Casa
Il motore marcia troppo svelto	Molla del regolatore mal registrata	Allentarla
Acqua di raffreddamento calda in un cilindro	Rubinetto di regolazione sul cilindro troppo « strozzato » o tubazione ostruita	Aprire di più, finchè la temperatura ritorni normale. Se ciò non ha nessun effetto arrestare il motore e verificare la tubazione, eliminando l' ostruzione eventuale
La pompa della acqua di raffreddamento non aspira	Le valvole della pompa hanno cattiva tenuta	Smerigliare le valvole
	Il filtro della « pigna » è ostruito	Pulire il filtro
La pressione dell'aria compressa nei serbatoi non si mantiene	Le valvole dei serbatoi hanno cattiva tenuta	Smerigliare, stringere i loro premitrecce o sostituirle

§ 25 - Verfifica dello stato dei vari organi e loro registrazione

Registrazione delle valvole di aspirazione e scarico nei motori a 4 tempi:
a) registrazione del gioco delle punterie delle valvole:
- con motore freddo, portare il rullo delle punterie (per ciascun cilindro) sul cerchio di riposo della relativa camma.
- Svitare i controdadi delle viti di registro delle punterie, ed agire sulle viti stesse finchè, sondando tra bilanciere e traversino delle valvole si trova il gioco prescritto a disegno; indi bloccare nuovamente le viti di registro mediante il loro controdado.

Tenere presente che il gioco sulle valvole di scarico deve essere in ogni caso superiore a quello delle valvole di aspirazione

b) Controllo delle fasi di aspirazione e scarico
Registrati i giochi delle punterie, fare girare l'albero motore e leggere sul volano, per ciascun cilindro, l'angolo di manovella (in gradi) corrispondente all'apertura e alla chiusura delle valvole di aspirazione.

- Registrazione dell'anticipo della pompa di iniezione
La mandata di ciascuna pompa di iniezione deve iniziare quando la manovella del corrispondente stantuffo-motore ha ancora da percorrere un certo angolo prima di raggiungere il . Quest'angolo si chiama anticipo.

- Anticipo
a) controllo per pompe del tipo Bosch
Il controllo può essere affettuato agevolmente col metodo detto **per traboccamento.**
- Svitare il raccordo della tubazione di mandata e togliere valvola e relativa molla.
-Riavvitare il solo raccordo.
- Collegare il raccordo di arrivo del combustibile con un apposito serbatoio munito di rubinetto.
- Far girare lentamente l'albero motore nel senso normale di rotazione, fino a portare il rullo di comando della punteria della pompa in esame, in corrispondenza del cerchio di riposo della relativa camma e, quindi, lo stantuffo della pompa al **pmi**. Aprire per un istante il rubinetto del serbatoio d'alimentazione e controllare che il combustibile defluisca liberamente.
- Far girare, a piccole ampiezze successive, l'albero motore osservando se il combustibile continua a defluire. Il preciso istante in cui il deflusso viene a cessare corrisponde all'inizio della mandata.
- Leggere sul volano l'angolo in gradi che la manovella del cilindro corrispondente alla pompa in esame deve ancora percorrere prima di arrivare al pms. Tale angolo corrisponde all'anticipo.
Nel caso che l'anticipo trovato non sia quallo prescritto, ritoccare il calettamento dell'albero della distribuzione, agendo sull'apposita bottoniera:
- in questo caso si varia dello stesso angolo l'anticipo di tutte le pompe di iniezione. Per correggere lievi differenze di anticipo, fra le singole pompe (differenza massima di 1 grado) i può agire sull'apposito spessore situato sotto ciascuna pompa.

- Controllo degli spazi morti
Come già visto, per **spazio morto** si intende la quota in millimetri fra la testata stantuffo e la testata cilindro, quando lo stantuffo si trova al **pms**.
E' opportuno eseguire il controllo dello spazio morto ogni volta che si eseguono lavori che interessano gli atsntuffi, le bielle ed i relativi cuscinetti.
Per controllare il valore dello spazio morto, si può usare il seguente sistema:
- estrarre il poverizzatore o la valvola di sicurezza, e dal relativo foro introdurre un filo di piombo, piegato opportunamente ad L, in modo che possa venire schiacciato tra il colletto dello stantuffo e la testata del cilindro;

- portare lo stantuffo al **pms** e farlo discendere;
- estrarre il filo di piombo e misurarlo in corrispondenza della zona schiacciata; l'altezza minima corrisponde alla quota dello spazio morto.

Per correggere lo spazio morto si possono usare 2 sistemi, secondo il tipo di motore, cioè:
1) variare lo spessore tra il fusto di biella ed il cuscinetto di testa di biella (se tale cuscinetto è staccato dal fusto);
2) variando lo spessore tra la testata del cilindro ed il suo piano d'appoggio.

§ 27 - Servizi ausiliari di bordo

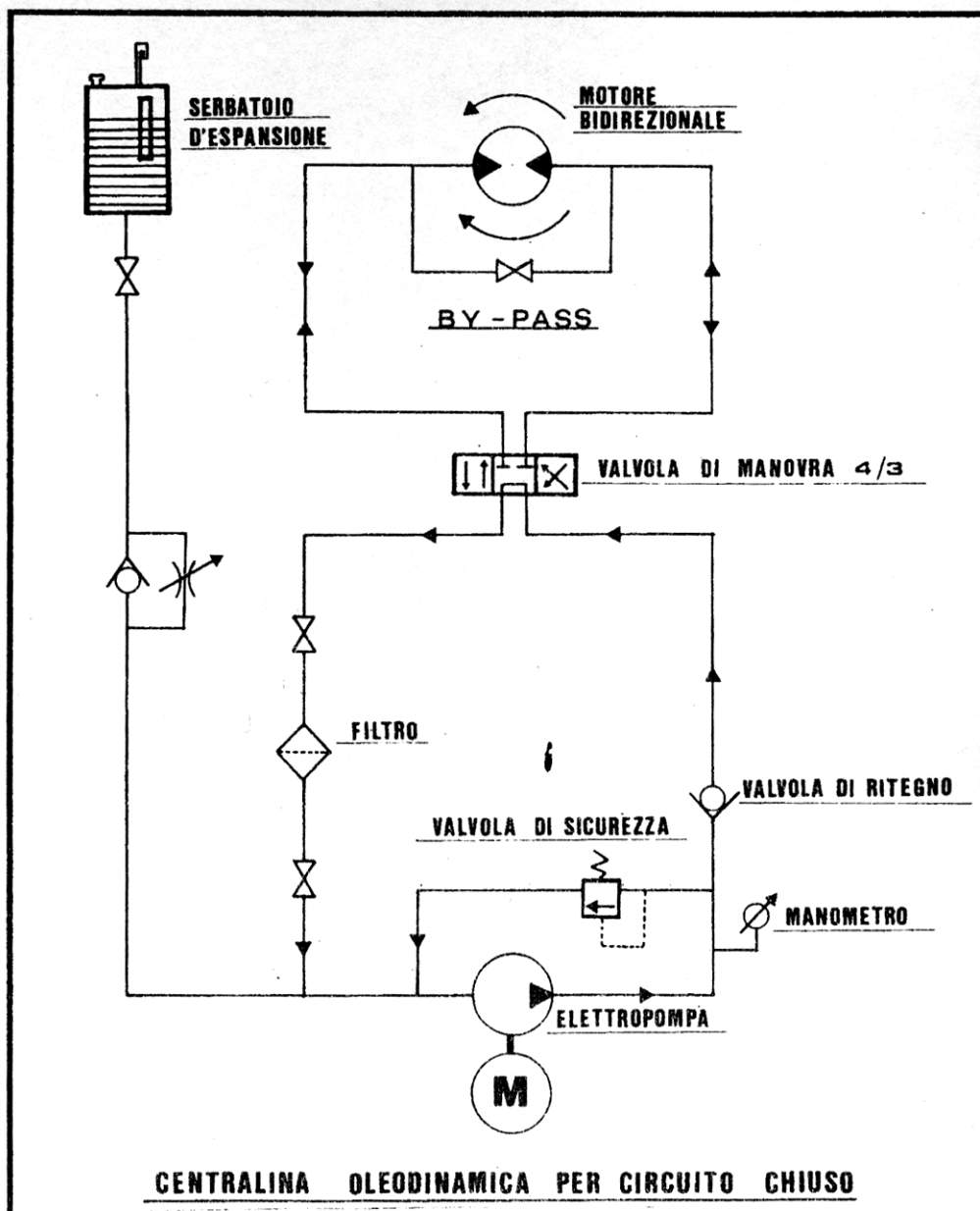
- Sistema di trasmissione al timone (telemotore, servomotore, agghiaccio) vedere modulo III, attrezzatura e manovra navale;

§ 28 - Conoscenza delle macchine più comuni presenti a bordo delle imbarcazioni. Macchine per salpare ed apparecchi di tonneggio. Uso e manutenzione

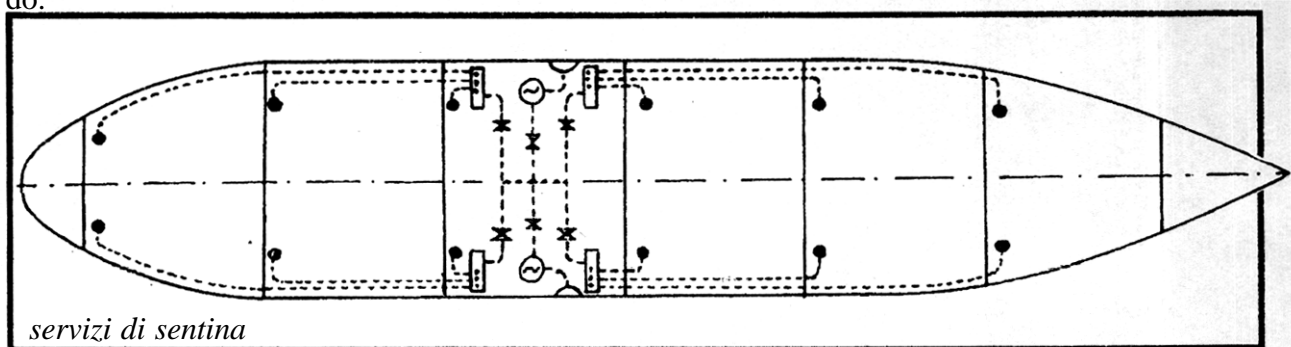
- Le macchine per salpare e gli apparecchi di toneggio possono essere azionati da motrici **a vapore, motori elettrici, motori idraulici e, talvolta, da motori diesel.**

La notevole diffusione dell'oleodinamica anche sulle navi ha favorito l'affermazione del comando idraulico anche per queste macchine. Il comando idraulico offre maggior affidabilità e minima manutenzione. Sono, infatti eliminati: riduttori, eccessivi rumori, vibrazioni. Sono di più semplice impianto e manovra.

Se idraulici, **salpaancore argani e verricelli da tonneggio, dispogono di tante centraline idrauliche** (di tipo chiuso con serbatoio d'espansione), quanti sono le coppie d'utenza omogenea. In pratica, **una centralina ogni 2 apparecchi dello stesso tipo posizionati uno accanto all'altro.**

CENTRALINA OLEODINAMICA PER CIRCUITO CHIUSO

La **centralina oleodinamica** per circuito chiuso è composta da:
a) elettropompa (pompa azionata da motore elettrico);
b) motore idraulico (del tipo a palette, a bassa velocità, con pressione d'esercizio di 30 bar, è reversibile in qualunque momento. Permette, quindi, di far girare le macchine in entrambi in sensi con la massima prontezza);
c) serbatoio d'espansione (compensa l'espansione del fluido idraulico che avviene per l'effetto di pressione e temperatura);
d) valvola di manovra (del tipo a cassetta con 4 vie e 3 posizioni) è azionata manualmente;
e) accessori di controllo e sicurezza (manometro, termometro, valvola di non ritorno, filtro, valvole di intercettazione, valvola di sicurezza.

§ 29 - Descrizione delle tubolature
- Servizi di sentina
I servizi di sentina sono normalmente utilizzati per liberare le sentine dall'acqua che in esse si raccoglie in conseguenza di fenomeni di colaggio del carico o di operazioni di lavaggio delle stive, ma la loro funzione primaria è quella di assicurare la possibilità di espellere fuoribordo l'acqua che si infiltra all'interno dello scafo quando viene meno l'impemeabilità dei fasciami.
Tutte le navi sono a tale scopo dotate di un impianto detto di **sentina o di esaurimento** costituito da pompe alle cui aspirazioni si collegano tubi provvisti di diramazioni che pescano nella parte più bassa dei pozzetti di sentina e alle cui mandate fanno capo i tubi per lo scarico dell'acqua fuoribordo.

servizi di sentina

Naturalmente, trattandosi di un impianto che riguarda la **sicurezza della nav**e in caso di falla devono essere osservate, per la sua realizzazione, **le norme previste dai regolamenti di sicurezza, oltrechè da quelli per la costruzione e la classificazione delle navi.**
Per soddisfare le norme attualmente in vigore, ciascuna nave deve essere dotata di non meno di due pompe di sentina azionate da energia meccanica e di un sistema di tubazioni atte a prosciugare qualsiasi compartimento stagno, anche con uno sbandamento di 5°.
Le tubazioni sono costituite da un collettore principale al quale si collegano diversi tubi di aspirazione i cui branchetti sboccano nei pozzetti di sentina.
Nel locale apparato motore deve essere disponibile, in aggiunta alle normali aspirazioni di sentina, un'aspirazione diretta con la pompa di circolazione al condensatore principale (piroscafi) o con la pompa di circolazione dell'acqua di raffreddamento del motore di propulsione (motonavi).
L'imbocco di questa aspirazione **lupa** deve essere protetto da una **pigna** e situata a livello idoneo per il prosciugamento del locale; la presenza di una valvola di non ritorno sull'aspirazione diretta assicura l'impossibilita di allagare accidentalmente il locale apparato motore.
Per evitare il passaggio d'acqua da un compartimento stagno all'altro o che l'acqua di mare di una cisterna passi in un qualsiasi compartimento asciutto, le tubazioni di sentina sono completamente separate dalle tubazioni di aspirazione dal mare e dagli altri circuiti di bordo.
Nel caso in cui le pompe di sentina possono aspirare anche dal mare o da compartimenti adibiti a cisterne, i collegamenti fra le tubazioni di sentina e le rispettive pompe sono provvisti di valvole di non ritorno.

Poichè le norme sulla sicurezza della vita umana prescrivono che ciascuna pompa di sentina deve avere potenza sufficiente per imprimere all'acqua, nel collettore principale, una velocità non inferiore a **122 m/minuto**, si deduce che la loro portata **Q**, in metri cubi all'ora, non deve essere inferiore a quella che si ricava dalla relazione: **$Q=0{,}00575d^2$,** dove d è il diametro, in millimetri del collettore principale.

- Servizi di zavorra

I servizi di zavorra sono disimpegnati da un impianto con caratteristiche simili a quello che assicura i servizi di esaurimento. Le stesse pompe di sentina possono essere utilizzate per il servizio di zavorra se i collegamenti fra le pompe ed i tubi di aspirazione dalle sentine sono muniti di valvole di non ritorno, ma il sistema di tubazioni per il prosciugamento ed il riempimento dei **depositi per zavorra (doppi fondi, deep tens, casse)** deve essere del tutto indipendente. Similmente a quant'accade per le tubazioni di sentina, anche i tubi per il servizio di zavorra corrono all'interno del doppio fondo (se non esistono particolari gallerie) sono provvisti di **branchetti** che sboccano nella zona poppiera di ciascun compartimento ed aspirano dalle parti più basse attraverso una **pigna di protezione.** La tubazione che attraversa la paratia di collisione per prosciugare o allagare la relativa cisterna d'assetto deve essere munita di **valvole a chiusura a vite manovrabili** da posizione situata al di sopra del ponte delle paratie. Un idoneo dispositivo deve essere posizionato in prossimità del volantino di manovra, per indicare se la valvola è aperta oppure chiusa. Il corpo della valvola viene fissato alla paratia di collisione dalla parte del gavone. L'acqua costituente la zavorra affluisce all'interno dello scafo attraverso apposite aperture esistenti nella parte inferiore dei fianchi **(prese a mare)**.
Per la sua espulsione fuori bordo si utilizzano appositi fori di scarico praticati nei fasciami dei fianchi. Fra le prese dal mare e la tubazione del servizio di zavorra è interposta una valvola d'intercettazione **(valvola Kingston)**, le cui caratteristiche costituiscono una garanzia contro l'eventualità di allagamenti accidentali.

§ 30 - Impianti di depurazione dell'acqua di servizio

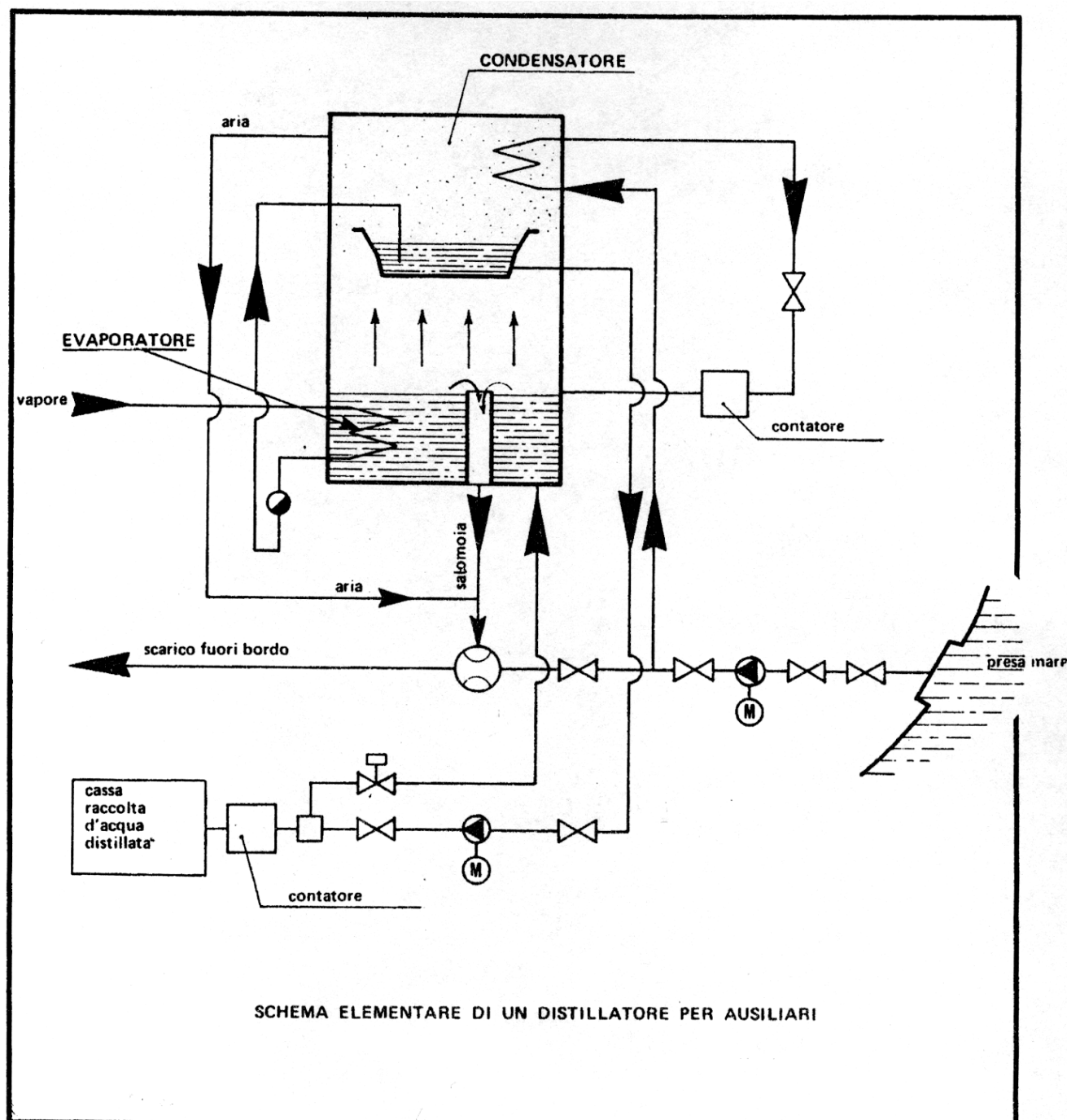
Nelle motonavi, si adottano distillatori di modesta potenzialità, che possono funzionare nche ricevendo il calore dell'acqua di raffreddamento dei motori. L'acqua distillata è utilizzabile per tutte le necessità. Il distillatore è un complesso costituito da due parti fondamentali: **l'evaporatore ed il condensatore,** vedere la figura seguente.

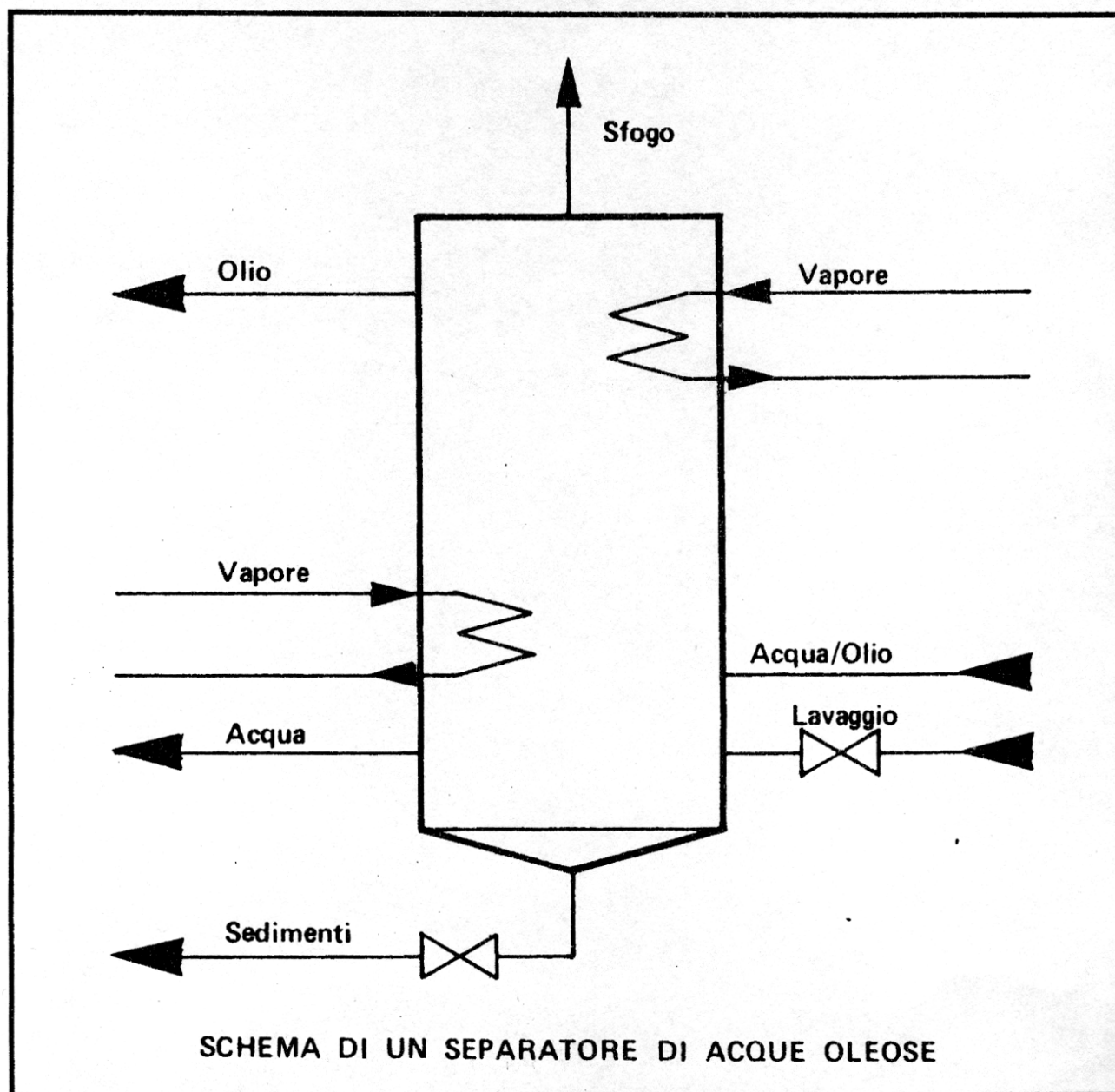
Il principio di funzionamento è il seguente:

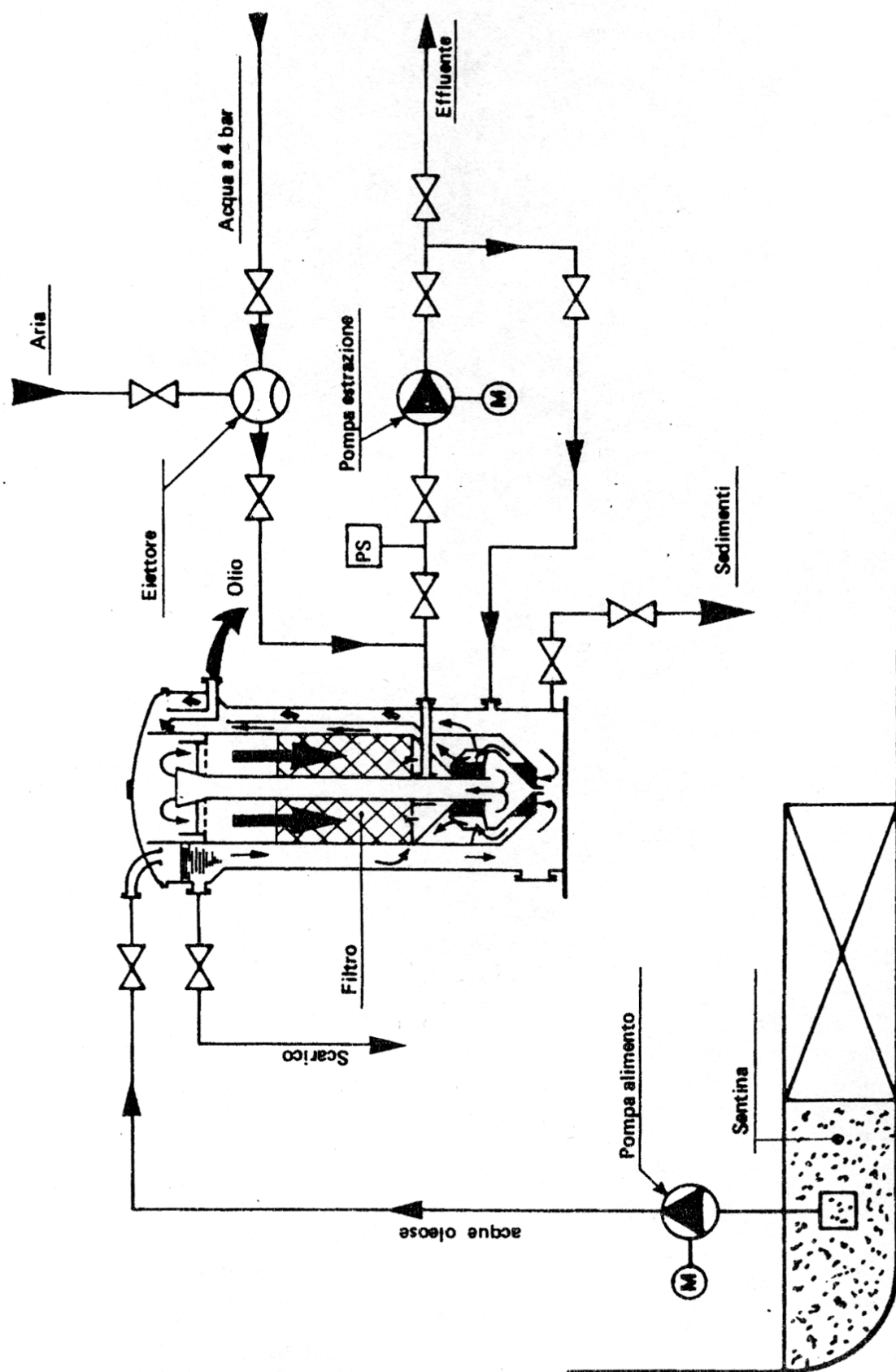
a) l'acqua salata entra nell'evaporatore; riscaldandosi, evapora.

b) Il vapore così generato passa nel condensatore, ove si condensa per l'effetto del raffreddamento indotto dall'esterno con la circolazione di acqua di mare.

Il distillatore lavora a basse temperatura e sotto vuoto. L'immissione dell'acqua salata ed il prelievo di quella distillata sono ottenuti con l'impiego di pompe. Ogni impianto è corredato da **regolatori di pressione e livello.** Inoltre è dotato di contatore per l'acqua distillata prodotta e di un **apparecchio salinometrico** per la verifica del distillato.

SCHEMA ELEMENTARE DI UN DISTILLATORE PER AUSILIARI

§ 31 - Impianti di separazione e filtrazione di acque oleose

Sono utilizzati per prelevare e trattare opportunamente i residui di acqua di zavorra sporca o di lavaggio. In genere essi sfruttano la separazione per gravità (**decantazione**). Sono costituiti da recipienti cilindrici in cui la miscela olio-acqua segue percorsi che facilitano la separazione.

Schema di un separatore di acque oleose

Gli impianti di filtrazione, spesso montati in serie per una separazione più spinta, si avvalgono di cartucce, tessuti o materiali granulari che filtrano o coagulano. Tali materiali possono essere intercambiabili o lavabili. Necessita la periodica revisione dei filtri e la sostituzione delle cartucce a perdere.

IMPIANTO DI SEPARAZIONE – FILTRAZIONE

§ 32 - Impianto di depurazione dei liquami

L'attuale maggior attenzione verso i problemi derivanti dall'inquinamento ha spinto il Legislatore (allineato alle norme **I.M.C.O - Intergovernamental Maritime Consultative Organization)** ad imporre precise norme per il trattamento degli scarichi di bordo: **bianchi e neri.**

Le navi vengono, quindi, dotate di installazioni capaci di **demolire biologicamente** i fattori inquinanti. Sono adottati dispositivi simili a quelli di terraferma, perlopiù basati sull'effetto della degradazione dovuta a batteri **aerobi ed anaerobi** (che vivono con o senza la presenza dell'aria).

Un impianto tipo è composto da: **1) cassa arrivo liquami, 2) cassa di aereazione, 3) casa di sedimentazione, 4) cassa di accumulo ed ispessimento dei fanghi, 5) cassa finale di raccolta e declorazione del depurato.**

§ 33 - Cenni sugli impianti frigoriferi

Servizio frigorifero - Sistemi di refrigerazione - Macchine frigorifere - Condotte e manutenzione - Celle frigorifere - Stive rifregerate - Coibentazione - Avarie più frequenti e mezzi per evitarle o eliminarle - Condizionamento dell'aria - Ventilazione condizionata del carico.

- Servizio frigorifero.

Il servizio frigorifero di una nave comprende: 1° la refrigerazione delle stive e del carico se si tratta di nave addetta al trasporto di merce deperibile.

2° la refrigerazione delle celle frigorifere per la conservazione dei viveri.

3° la refrigerazione dell'acqua potabile.

4° la refrigerazione dell'aria (aria condizionata).

- Sistemi di refrigerazione.

I sistemi di refrigerazione usati sono:

A ciclo chiuso refrigerazione diretta.

A ciclo chiuso refrigerazione indiretta.

Nel ciclo chiuso a refrigerazione diretta, il fluido frigorigeno si espande direttamente nelle serpentine sistemate nelle celle da refrigerare, mentre nel ciclo chiuso a refrigerazione indiretta, le serpentine sono immerse in una vasca, nella quale circola la salamoia. Questa raffreddata passa nelle celle frigorifere, circolando in apposite serpentine e ritornando poi alla vasca dopo aver assorbito il calore delle celle.

La salamoia è costituita da una soluzione incongelabile (brine) composta di acqua e cloruro di sodio, oppure acqua e cloruro di calcio o di magnesio. Il cloruro di sodio è quello più usato per il basso costo, però se si vuole raggiungere una temperatura molto 'bassa, inferiore ai -20° (meno 20° cent.) è necessario usare cloruro di calcio o di magnesio.

- Macchine frigorifere.

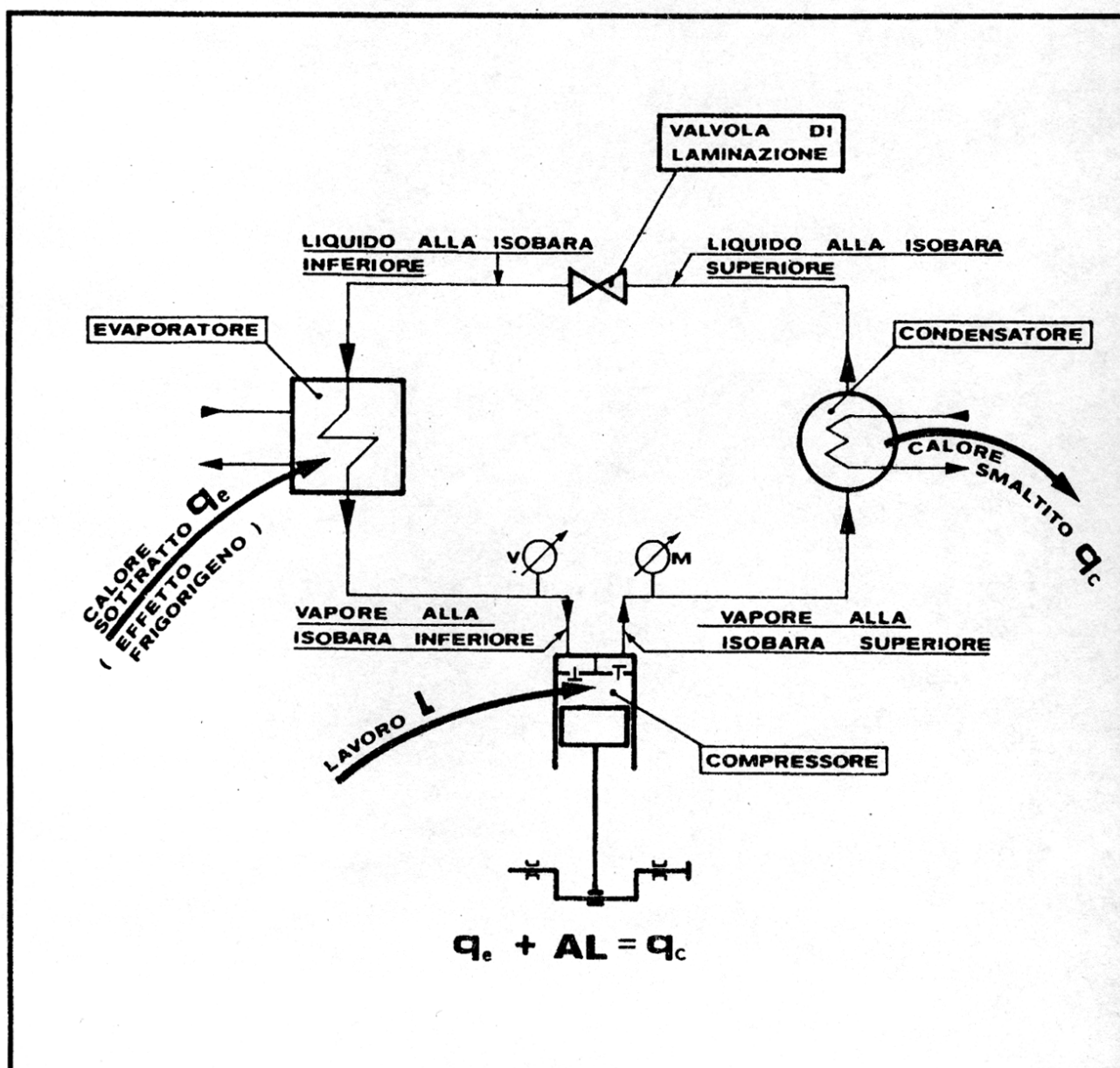
Le macchine frigorifere a compressione sono sostanzialmente composte: da un compressore, un condensatore, una valvola di espansione, un vaporizzatore.

Il ciclo avviene nel seguente modo: il fluido intermediario (ammoniaca, anidride carbonica, anidride solforosa, cloruro di metile, cloruro di etile, etano, freno 11, freno 12 ecc). viene compresso dal compressore, da questo passa al condensatore, dove passando allo stato liquido cede calore poi attraverso la valvola di espansione va al vaporizzatore dove evaporando assorbe calore indi viene aspirato dal compressore ed il ciclo si chiude.

Il compressore è una pompa aspirante e premente, può essere ad uno o più stadi, il più usato è quello alternativo a pistoni, a semplice o doppio effetto; ad uno o più cilindri verticali, in linea, o a T ; oppure orizzontali, con raffreddamento ad aria oppure ad acqua.

Il condensatore ha la funzione di raffreddare il fluido intermediario fino a provocare la liquefazione; è costituito da un serpentino, nel quale circola il liquido, immerso in un recipiente nel quale circola l'acqua di raffreddamento.

La valvola di espansione attraverso la quale il fluido subisce una laminazione, è costituita da una speciale valvola ad apertura regolabile con precisione, in modo da mantenere ai valori richiesti, la pressione a monte ed a valle della stessa.

Il vaporizzatore è l'organo che viene collocato nel mezzo da raffreddare ed è costituito da serpentine o fasci tubolari di acciaio o rame, esposti direttamente nell'aria della cella da raffreddare, oppure immersi nella vasca nella quale circola la salamoia che raffreddata passa alle celle frigorifere circolando in apposite serpentine. Negli impianti frigoriferi di bordo, specialmente per quanto riguarda la conservazione dei viveri, si richiede che nelle celle di conservazione, vi sia la temperatura adatta a ciò che si deve conservare, si avranno così: celle per la conservazione della carne e del pesce ad una temperatura di circa - 10° C; cella per la conservazione dei formaggi ad una temperatura di circa - 1°C; cella per la conservazione della verdura ad una temperatura di circa + 4°C. Per ottenere ciò ogni

cella ha un proprio circuito, in modo da renderlo indipendente dalla refrigerazione delle altre celle. Il mantenimento della temperatura stabilita nelle celle, viene effettuato per mezzo di termostati e valvole solenoide, le quali raggiunta la temperatura di taratura, intercettano il passaggio del liquido, frigorigeno alla relativa cella.
Nell'impianto esistono ancora interruttori di alta e bassa pressione i quali hanno la funzione di arrestare il compressore quando le pressioni nei rispettivi circuiti non sono quelle predeterminate e di rimetterlo in moto non appena si sono ristabilite le condizioni di regime.
Vi sono ancora pressostati che arrestano il compressore quando viene a mancare l'acqua di refrigerazione; filtri del freno che hanno la funzione di arrestare il fango delle incrostazioni che possono essersi formate nel circuito; filtri d'olio sistemati tanto sulla linea del liquido che in quella di aspirazione.
L'impianto è inoltre provvisto di un essiccatore, da usare solo quando si carica il frigorifero di nuovo freno 12, oppure per togliere l'umidità al circuito.

- Considerazioni termodinamiche
Un circuito frigorigeno può essere considerato quale sistema in cui il fluido frigorigeno circola contunuamente ed uniformemente, assorbendo e cedendo, volta per volta, calore e lavoro.
L'energia che entra, quindi, è pari a quella che esce.

$$qe+\Delta L=qc$$

qe = calore sottratto dall'ambiente da refrigerare attraverso l'evaporatore;
ΔL = equivalente termico del lavoro di compressione L, compiuto sul fluido frigorigeno;
qc = calore ceduto dal fluido all'ambiente esterno, attraverso il condensatore.

- Condotta e manutenzione.
Verifica della tenuta. È indispensabile che l'impianto sia a tenuta perfetta, sia per quanto riguarda la pressione che il vuoto. Le prove di tenuta alla pressione vengono effettuate inserendo nel circuito una bombola di anidride carbonica, munita di manometro e valvola di regolazione della pressione. Non si deve mai adoperare ossigeno o gas acetilene poiché possono provocare esplosioni. Mentre la prova di tenuta del vuoto viene effettuata nel seguente modo:
1) Si chiude la valvola di compressione all'uscita del compressore, si aprono completamente tutte le altre valvole dell'impianto, ivi comprese quelle termostatiche e i by pass.
2) Si toglie il tappo situato sul rubinetto premente per l'attacco al manometro, ciò per lasciare sfogare il poco fluido che eventualmente si trova in circolazione.
3) Si mette in funzione il compressore fino a quando non si ode più il battito delle valvole, il che indica che il compressore non ha più nulla da pompare.
Quando si continua ad udire il battito, ovvero chiudendo con la mano l'orifizio di espulsione del rubinetto si sente dopo qualche tempo, una certa pressione, significa che nell'impianto il vuoto non è ancora completo, oppure vi sono infiltrazioni d'aria.
4) Quando il vuoto raggiunge almeno 70 m/m di Hg, la valvola di carica e la valvola di aspirazione verranno chiuse ed il compressore fermato.
Il manometro dovrà indicare un vuoto inalterato per almeno 6 ore.

Prova di tenuta al freno. Se con la prova precedente non si riscontrano perdite, si può eseguire la prova di tenuta al freno nel modo seguente: Dopo aver fatto: il vuoto, si immette lentamente nel circuito il freno e passando l'apposita lampada rivelatrica, sulle parti soggette a pressione, si controllerà la tenuta. La colorazione della fiamma ci indicherà l'entità della fuga. Infatti, se la fuga è leggera si produrrà una colorazione verde; se è notevole si produrrà una colorazione blu forte; se è rilevante s spegnerà la fiamma.
Prima di eseguire il controlIo con la lampada è bene ventilare l'ambiente per evitare false colorazioni per effetto di eventuale freno libero sfuggito dalle bombole durante la carica dell'impianto.

Come eliminare l'umidità dal circuito. Quando alle prove di tenuta il circuito è risultato stagno, si rifarà il vuoto, mantenendolo per circa 12 ore, durante questo periodo si provvederà a riscaldare a circa 100° C tanto l'evaporatore che i condensatori e ciò mentre il compressore continuerà a fare il vuoto. Si eliminerà in tal modo ogni traccia di umidità e si può procedere alla carica di freno.
Quando il freno contenuto nelle bombole sta per esaurirsi si potrà riscaldare la bombola con stracci bagnati in acqua bollente, ciò per accelerare la carica.

- Manutenzione.
La manutenzione richiede essenzialmente:
I1 controlIo della lubrificazione; il controllo dei manometri; il controllo dei cuscinetti del motore; la tenuta dei premitrecce; la tensione delle cinghie; i contatti degli interruttori ed apparecchiature elettriche; si scaricherà l'acqua dal sistema di condensazione e si controllerà che non vi siano parti corrose.
Se necessitano lavori di apertura dei compressori o dei condensatori o comunque lavori importanti è bene recuperare il gas nelle bombole per poi rimetterlo nel sistema a riparazione avvenuta.

- Celle frigorifere
Le celle frigorifere debbono essere sistemate il più possibile lontano dai locali di macchina e caldaie, ed in prossimità della macchina frigorifera.
Ogni cella è munita di porta che la mette in comunicazione con un anticella, anch'essa bene isolata, ciò per evitare comunicazioni dirette con l'ambiente esterno.
Tutte le pareti delle celle sono rivestite di materiali isolanti per evitare dispersioni (perdita di frigorie).
L'isolante più usato a bordo è il sughero conglomerato in pannelli, oppure granulato, secondo le superfici da ricoprire, lo spessore deve essere tale da assicurare il minimo di perdita di frigorie, (dai 200 ai 300 m/m). La superficie del sughero nell'interno della cella è rivestita da uno strato di tavole e sulle pareti, nelIa posizione più idonea, sono sistemate le serpentine refrigeranti-_

- Avarie più frequenti, modo per evitarle ed eliminarle.
Le avarie più frequenti sono: Fughe di fluido frigorigeno per perdita della tenuta stagna. Tali fughe provocano diminuzione di carica nel circuito, con conseguente irregolarità di funzionamento.
Si avrà quindi una variazione di temperatura nelle celle, il che può arrecare danno alle cose da conservare. Occorre perciò ripristinare al più presto la tenuta e supplire nel circuito il fluido disperso.

Rottura o inceppamento delle valvole del compressore. In tal caso occorre mettere in funzione la macchina di riserva, smontare la testata del compressore e sostituire le valvole.

Cattivo funzionamento della pompa di circolazione; Cattivo funzionamento delIa motrice ecc.

Naturalmente queste avarie si possono evitare solo mediante una regolare periodica visita e rettifica di tutte le parti che costituiscono il complesso .

- Condizionamento dell'aria.
Il condizionamento dell'aria consiste nel raffreddamento e deumidificazione dell'aria in estate e nel riscaldamento e umidificazione d'inverno. L'aria così trattata viene convogliata in apposite condotte che la distribuiscono nei vari locali. Un impianto completo è formato da un cassone nel quale esistono due serie di serpentine, una per il riscaldamento dell'aria e una per il raffreddamento; un ventilatore adeguato alla fornitura dell'aria necessaria ai locali; una serie di filtri per l'aria. Le serpentine per il riscaldamento sono collegate con una tubazione di vapore a bassa pressione; le serpentine per il raffreddamento fanno parte del sistema evaporante di una macchina frigorifera appositamente

installata nel locale di condizionamento. Vi sono inoltre le condotte per la distribuzione dell'aria condizionata nei vari locali; condotti di ritorno dell'aria viziata, dispositivi per 1'umidificazione; ed apparecchi di misura e di controlIo. Dopo quanto si è detto, è facile comprendere come avviene il condizionamento.
Per raffreddare l'aria si mette in moto il frigorifero, si mette in moto il ventilatore, l'aria investendo le serpentine evaporanti si raffredda, deposita su di esse parte della sua umidità e convogliata per le apposite condutture arriva nei vari locali. Si tenga presente che la differenza di temperatura tra un locale con aria condizionata fredda e l'esterno non deve mai superare i 5 - 6 gradi.
Il senso di benessere e di frescura la dà l'aria deumidificata.
Per il riscaldamento dei locali invece si terrà fermo il frigorifero si metterà in funzione il ventilatore, si farà passare il vapore nelle apposite serpentine e quindi 1'aria calda giungerà nei vari locali.
L'impianto comprende inoltre dei dispositivi per l'introduzione nel circuito di aria fresca.

- Ventilazione condizionata del carico.
Consiste nell'inviare nelle stive appositamente predisposte aria condizionata ad una temperatura regolabile, secondo il tipo di merce che si trasporta. Il sistema di raffreddamento dell'aria è quello già precedentemente descritto.
Su molte navi da carico e quando il genere di merce trasportate lo richiede, si effettua la ventilazione delle stive mediante aria deumidificata Con questo sistema si evitano i danni che la condensazione dell'umidità può arrecare al carico.
A tal fine è utilizzato sulle navi il sistema di ventilazione noto sotto il nome di Cargocaire. Esso consiste in un impianto di ventilazione forzata capace di far pervenire aria deumidificata in ogni punto delle stive attraverso appositi condotti formanti un circuito chiuso. Tale circolazione può essere opportunamente sostituita con quella dell'aria esterna, quando questa è secca. Su di un apposito quadro può rilevarsi costantemente il punto di condensazione dell'aria atmosferica e quella aspirata dalle stive, in modo da poter regolare il funzionamento dell'impianto in relazione alle esigenze della merce imbarcata.

§ 34 - Controlli ed operazioni relative all'imbarco ed al travaso del combustibile
Il servizio di imbarco (bunkeraggio) è preliminare alla navigazione. L'operazione può essere eseguita a terra, da un'altra nave, oppure presso un deposito fisso. Il travaso è lo spostamento del combustibile da un deposito all'altro, o da una cassa all'altra della nave, oppure nei doppi fondi.
Si imbarcheranno i tipi di combustibile necessari al funzionamento di tutti i motori presenti a bordo.
Il combustibile può essere costituito, a seconda dei casi, da nafte pesanti, leggere ed altro.
Il combustibile viene aspirato a bordo, attraverso adeguate tubolature. Una pompa di travaso (a viti) permette l'eventuale trasferimento da un deposito all'altro.

- Precauzioni
a) corretta connessione delle manichette;
b) preparare una ghiotta per la raccolta dell'eventuale combustibile fuoruscito durante l'operazione;
c) turare gli ombrinali di coperta per evitare l'eventuale caduta a mare di combustibile inquinante;
d) issare a riva la bandiera rossa (lett. B cod. int.)
e) il comando di bordo provvederà a far versare il carburante nel serbatoio più opportuno, tenendo conto della stabilità e dell'assetto della nave.

§ 35 - Visite di controllo alla carena ed agli apparecchi di governo
- Registri di classificazione
I registri navali di classificazione sono enti tecnici che esercitano il controllo di tutte le costruzioni na-

vali, al fine del rilascio del certificato di classe. Esso stabilisce l'idoneità della nave alla navigazione. Tale controllo viene esercitato sia sulla nuova costruzione (comprende le prove meccaniche dei materiali impiegati e le prove di funzionamento dei macchinari), sia sulle navi già costruite, mediante visite.
I registri che maggiormente ci interessano sono:
Registro navale italiano, R.I.NA;
Registro navale inglese, Lloyd's Register;
Registro navale americano, American Bureau;
Registro navale francese, Bureau Veritas.

Le visite di controllo da effettuarsi su navi già costruite si distinguono in:
a) visite periodiche, a scadenza fissa;
b) visite occasionali, cioè non legate a scadenza prefissata. Vengono effettuate in seguito ad avaria, modifica od altri motivi accidentali.
Ogni registro ha il proprio regolamento che prescrive esattamente i limiti di tempo entro cui vanno eseguite le visite periodiche. Mentre, quelle occasionali sono stabilite di volta in volta, secondo il caso.

- Visite periodiche R.I.NA.
a) Visite speciali o di riclassificazione devono essere eseguite normalmente per navi aventi la 1. classe, al quarto anno di età. Successivamente, ogni quadriennio.
b) Visite ordinarie macchine vengono eseguite ad intervalli di un anno per le navi passeggeri; due, per quelle da carico.
c) Visite agli assi portaelica sono eseguite ad intervalli di 2, 3 anni, secondo la loro conformazione.
d) Visite alle prese mare eseguite ogni anno per le navi da passeggeri, ogni due per quelle da carico.
e) Visita e pressatura dei recipienti e tubolature sotto pressione.
Bombole e serbatoi per l'aria compressa, se ispezionabili internamente, vengono visitati ogni 2 anni e pressati ogni 4. Se non sono ispezionabili internamente, vengono pressati ogni 2 anni.

- Visite periodiche apparato motore
Ogni visita comporta una o più ispezioni preliminari. In tali occasioni, il perito del R.I.NA. fisserà i lavori da eseguire. Seguiranno una o più ispezioni finali, per consentire al perito di constatare l'avvenuta esecuzione dei lavori.

- Visite ordinarie macchine
Per le visite ordinarie macchine, i motori a combustione interna sono divisi in:
a) motori di propulsione ed ausiliari di propulsione. (indispensabili per assicurare il funzionamento del motore di propulsione);
b) motori ausiliari non di propulsione

Le ispezioni richieste nei due casi sono le seguenti:

Parte soggetta a visita	Motore di propulsione o ausiliario di propulsione		Motore ausiliario non di propulsione con qualsiasi numero di cilindri
	con 4 o più di 4 cil.	con 3 o meno di 3 cil.	
Stantuffo motore	2	1	1
Testata cil. con valvole	2	1	1
Biella con cuscinetto	2	1	1
Cuscinetto di banco	2	1	1
Cuscinetto linea d'assi	1	1	-

- Compiti e doveri dei montatori imbarcati per garanzia

1) Curare l'esercizio del motore in modo che non vengano superate le condizioni contrattuali;
2) provvedere ai lavori necessari per una buona manutenzione ed un buon esercizio dei motori e dei macchinari ausiliari, curando altresì l'esecuzione di tutte le modifiche autorizzate dal fabbricante;
3) conoscenza delle normali operazioni di visita e controllo dei vari organi del motore;
4) curare l'istruzione del personale di bordo, addetto ai motori (personale di macchina di bassa forza);
5) inviare rapporti dettagliati e precisi per quanto riguarda il funzionamento dei motori, dei lavori eseguiti in navigazione e durante le soste in porto (sia per i motori principali, che per i gruppi elettrogeni);
6) dare notizie su eventuali osservazioni del bordo ed anche personali per quanto riguarda il funzionamento dei motori.

- Compilazione dei rapporti

I rapporti deveno essere compilati con la massima chiarezza e proprietà di linguaggio.

GRANDEZZE DERIVATE

Grandezze	Unità di misura	Simboli	Equivalenze
Forza	newton	N	1 N = 1 kgm/s^2 1 kg forza = 9,80665 N ≅ 1 daN
Energia Lavoro Quantità di calore	joule	J	1 J = 1 Nm 1 kJ = 1000 J 1 kJ = 1/4,1868 kcal 1 kcal ≅ 4200 J
Potenza	watt	W	1 W = 1 J/s 1 kW = 1000 W 1 kW = 1,36 Cv
Momento di una forza	newton · m	Nm	1 Nm = 1 J 10 Nm = 1 daNm
Pressione dei fluidi	pascal bar	Pa bar	1 Pa = 1 N/m^2 1 bar = 10^5 Pa 1 kg/cm^2 = 1 at = 0,98 bar 760 mmHg = 1 atm = 1,013 bar 1 kg/m^2 = 0,098 mbar
Sollecitazione	newton/mm^2	N/mm^2	1 kg forza/mm^2 = 9,80665 N/mm^2
Potenziale elettrico	volt	V	1 V = 1 W/A
Resistenza elettrica	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A